

Санкт-Петербургский Государственный университет

**РОДИОНОВА Анастасия Владимировна**

**Выпускная квалификационная работа**

**РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ ЗОЛОТО-СУРЬМЯНОГО  
ОРУДЕНЕНИЯ МАЛТАНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ  
(ВЕРХНЕ-ИНДИГИРСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))**

Основная образовательная программа бакалавриата

«Геология»

Научный руководитель: к.г.-м.н.,  
доцент кафедры региональной геологии  
ВОЙТЕНКО Вячеслав Николаевич

Научный соруководитель: к.г.-м.н.,  
доцент кафедры ГМП  
АЛЕКСЕЕВ Иван Александрович

Рецензент: к.г.-м.н.,  
ТИХОНОВА Наталия Владимировна

Санкт-Петербург  
2018

## Оглавление

Введение .....	4
1. Геологическое строение района работ .....	7
1.1 Краткий геологический очерк района .....	7
1.2 Анализ структурно-тектонических условий локализации золоторудной минерализации .....	9
1.2.1 Региональная позиция северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла .....	9
1.2.2 Структура Малтанского рудного поля .....	11
1.2.2.1 Северо-восточный моноклиальный домен (Аппа) .....	12
1.2.2.2 Центральные структурные домены (Долинный, Малтан, Центральный). ..	13
2. Литологические и петрографические особенности рудовмещающих пород .....	22
2.1 Литологические особенности .....	22
2.2 Особенности петрографического состава .....	28
2.2.1 Домен Центральный .....	28
2.2.2 Домен Малтан .....	29
2.2.3 Домен Долинный .....	30
2.3 Гидротермально-метасоматические образования .....	31
2.3.1 Домен Центральный .....	31
2.3.2 Домен Малтан .....	32
2.3.3 Домен Долинный .....	34
3. Вещественный состав руд, минеральные парагенезисы и последовательность рудообразования. ....	35
2.1 Минеральный состав прожилково-вкрапленного оруденения .....	35
2.2 Минеральный состав жильно-прожилкового оруденения .....	46
2.3 Минеральные парагенезисы и последовательность рудообразования .....	51
Заключение .....	54
Список литературы .....	56

Приложение 1. Минераграфическое описание аншлифов. ....	60
Группа с прожилками.....	60
Группа брекчий и кварца. ....	77
Брекчии.....	80
Приложение 2. Результаты микрозондового анализа для образцов из керна скважин. ..	85
Таблица 1. Состав пирита, марказита и пентландита домена «Долинный» по .....	85
Таблица 2. Состав арсенопирита домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.....	86
Таблица 3. Состав минералов золото-полиметаллической ассоциации домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.....	87
Таблица 4. Состав сульфоарсенидов, сульфоантимонидов никеля, кобальта домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.....	89
Таблица 5. Состав сульфидов без расчета формулы домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.....	90
Таблица 6. Состав самородного золота домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.....	91
Приложение 3. Минеральный состав протолочек из межслоевых жил. ....	92
Таблица по протолочке М27-1 (Домен Центральный). ....	92
Таблица по протолочке М7-1. (Домен Малтан) .....	93

## Введение

Малтанское рудное поле расположено в юго-восточной части Адыча-Тарынской зоны разлома. В 2014 году, в ходе работ по изучению условий локализации золоторудной минерализации северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла (в рамках Госконтракта ГУ ГГП «Якутскгеология» «Поисковые работы на рудное золото в пределах серверо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла (Республика Саха (Якутия))») было детально изучено прожилково-вкрапленное оруденение, выявленное при работах в 50-60 годах, но до 2014 года детально не изучавшееся.

В результате данных поисковых работ было выявлено несколько золоторудных проявлений – Центральный, Аппа, Малтан и долина реки Малый Тарын (Долинный).

Основная цель работы заключается в выявлении рудоконтролирующих факторов золото-сурьмяного оруденения на Малтанском рудном поле.

В качестве задач исследования выделяются:

1. Проанализировать результаты предшествующих работ для получения предварительной характеристики золоторудных проявлений территории.
2. Сделать структурно-геологический анализ по объекту исследования.
3. Составить минераграфическую характеристику пород рудной зоны исследуемой площади.
4. Оценить условия формирования рудопроявления и выявить рудоконтролирующие структуры и факторы.

Актуальность работы заключается в том, что на данный момент в изучаемом регионе истощены запасы россыпного золота, а действующих объектов по разработке коренных месторождений всего три – «Бадран», «Сарылах» и недавно запущенный «Дражный», и, в ближайшем будущем будут необходимы новые объекты для золотодобычи. За последние годы в работу было введено единственное новое месторождение – «Дражный».

Малтанское рудное поле расположено в одной геолого-структурной обстановке с озвученными выше месторождениями, а также схоже по характеристикам с соседним месторождением «Дражный» и, следовательно, является перспективным объектом для изучения с целью разработки в будущем золотодобывающего производства на коренное золото.

Также знание рудоконтролирующих факторов может сыграть свою роль при поиске аналогичных объектов в данном регионе. В виду малого количества коренных выходов на участке исследования данная работа приобретает еще большую актуальность.

В результатах исследований могут быть заинтересованы такие компании, как: ООО «Поиск», АО «Тарынская золоторудная компания», ГРК «Западная», ГРК «Сарылах-Сурьма», ГРК «Янтарь».

Для исследования были использованы следующие материалы: аншлифы (материал отобран из керна скважин) в количестве 45 штук, протоочки (отобраны из зон послойных срывов) в количестве 2 штук. Все материалы с изучаемой площади предоставлены ООО «Геологический центр СПбГУ».

Автором была произведена подготовка указанного фактического материала к работе, так как за несколько лет все подготовленные образцы подверглись довольно сильному окислению. Однако, предварительный просмотр аншлифов в окисленном состоянии позволил выявить некоторые различия в степени окисления минералов различных генераций. Было выполнено минераграфическое описание аншлифов из различных структурных доменов на оптическом микроскопе с увеличением от 1,6х до 50х. В дальнейшем часть аншлифов была проанализирована с помощью настольного сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 3000 с приставкой энергодисперсионного микроанализа OXFORD, с целью установления пробности выявленного золота, определения химического состава минеральных фаз не диагностированных при просмотре на оптическом микроскопе Leica DM2500. Также был проведен анализ минералов REE, содержащихся в повышенном количестве в одном из аншлифов на растровом электронном микроскопе FEI Quanta 200. По данным, полученным в ходе проведенных исследований, были составлены: таблицы с минераграфическим описанием по каждому образцу, таблицы с химическим составом рудных фаз и пробностью золота. Помимо этого, были изучены протоочки на предмет наличия рудных минералов в зонах послойных срывов и их отличия от рудной составляющей по материалам, полученным из керна. Аналитика была проведена сначала под бинокляром, а впоследствии с помощью настольного сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 3000. Результаты в дальнейшем также были оформлены в виде приложений к этой работе.

Аналитические исследования проводились на базе Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в РЦ «Центр микроскопии и

микроанализа». Также был выполнен структурный анализ по уточнению шарниров конических складок для каждого домена исследуемой площади. В работе были использованы программы Fault Kin, OpenStereo, Stereonet, CorelDRAW X8, Adobe Photoshop CC 2017, Microsoft Excel 2013.

Кроме всего прочего была выполнена проверка образцов на наличие в них шеелита под УФ-лампой.

# 1. Геологическое строение района работ

## 1.1 Краткий геологический очерк района

Согласно современным представлениям территория Малтано-Саннинского рудно-россыпного узла расположена в пределах структур зоны сочленения Колымо-Омолонского микроконтинента и Верхоянской континентальной окраины (рис. 1) (Тектоника, геодинамика., 2001). Мощность земной коры в зоне составляет не более 35 км (Стогний, Стогний, 2005).

Предполагается, что верхоянский терригенный комплекс мощностью до 10 км залегает непосредственно на раннедокембрийском кристаллическом фундаменте. Накопление верхненорийских турбидитовых отложений происходило в узком (10-15 км) трогге, возникшем в зоне регионального Адыча-Тарынского разлома, разделявшего приконтинентальную часть шельфа и подножие континентального склона Верхоянской пассивной окраины. Адыча-Тарынский трог также контролировал проявления контрастного базальт-риолитового магматизма юрского возраста и миграцию флюидов, возможно, обогащавших золотом терригенные отложения. Геологическое строение узла находит отражение в геофизических полях.

Малтано-Саннинский рудно-россыпной узел, в качестве структурного элемента Тарынского золоторудного района, выражен в структуре поля силы тяжести региональным гравитационным минимумом, которому на поверхности соответствует вулcano-плутоническая структура Сарычева. В эту структуру входит Тарынский субвулкан (131-141 млн. лет), а также Нельканский (144 млн. лет), Чингаканский (122 млн. лет), Арга-Салинский (122 млн. лет), Курдатский (143 млн. лет) и Самырский (144 млн. лет) массивы гранитоидов (Layer, 2001).

Эти массивы, за исключением Нельканского, проявляются слабыми (до 3 мГал) гравитационными минимумами. При этом, пространственной связи между гравитационными максимумами Тарынской аномалии и локальными аномалиями магнитного поля не наблюдается. Магнитное поле структуры Малтано-Саннинского рудно-россыпного узла слабоинтенсивное, можно выделить лишь один субмеридиональный линейный максимум вдоль оси Саннинской антиклинали. Положительные магнитные аномалии фиксируют зоны развития контактово-метаморфизованных пород, как правило, выходящих на дневную поверхность, и участки интенсивной сульфидизации пирит-пирротинового состава (Имаметдинов и др., 2011).

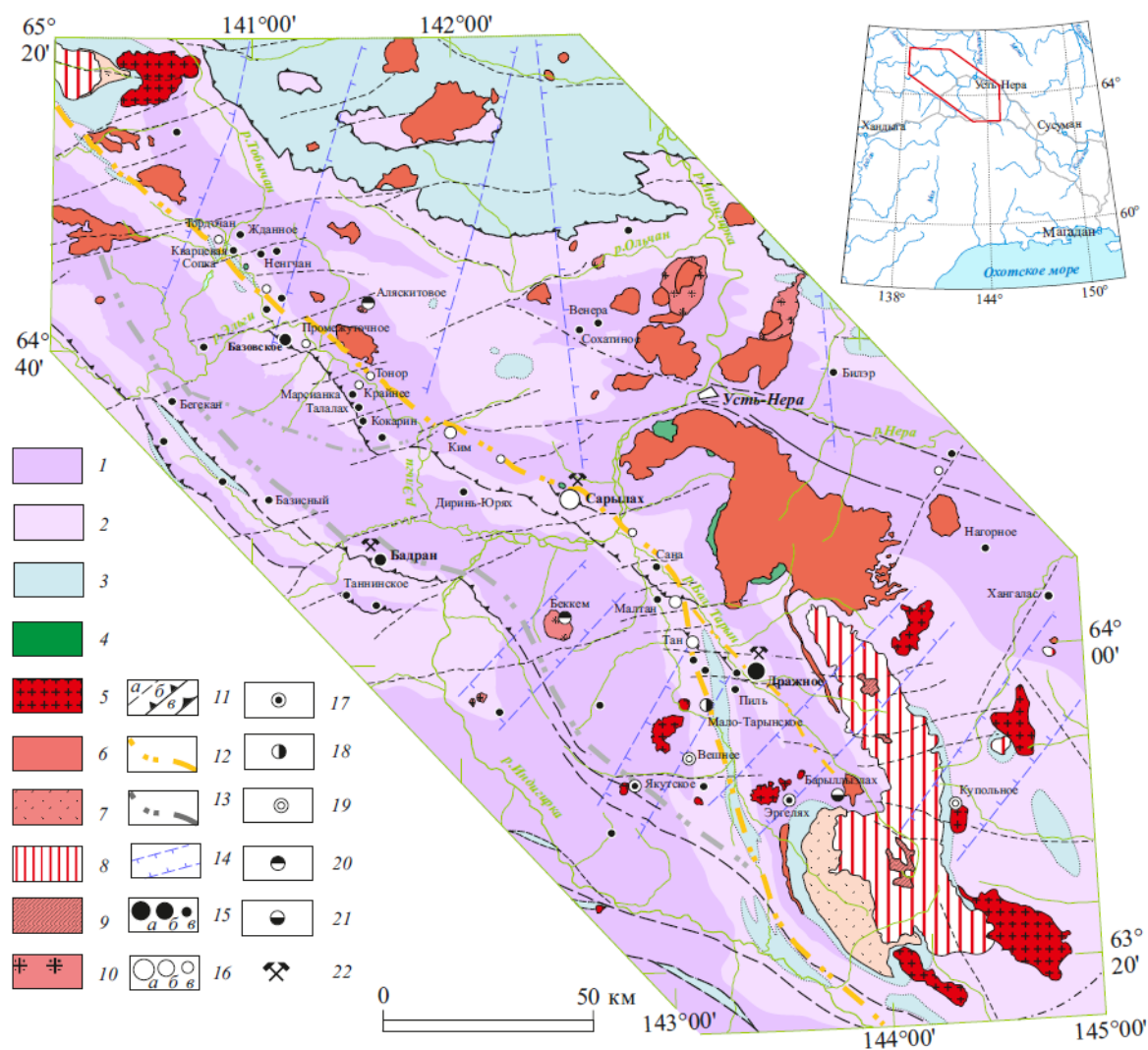


Рис. 1. Геологическая схема Верхне-Инди́гирского района (Белуженко, Войтенко, Соболев и др., 2018).

терригенные и вулканогенно-осадочные отложения: 1 – нижнего и среднего триаса, 2 – верхнего триаса, 3 – юрские нерасчлененные; магматические комплексы: 4 – позднеюрский диоритовый, 5-7 – раннеэокомовый: гранодиорит-гранитный (5), адалеллит-гранитный (6) и риолитовый (7); 8-10 – позднеэокомовый дацитовый (8), то же с микропегматитовыми гранодиорит-порфирами (9); 10 – апт-альбский гранит-лейкогранитный; разрывные нарушения: 11 – взбросо-сдвиги (а), взбросы (б) и надвиги (в); разрывные структуры по геолого-геофизическим данным: 11-12 – осевые зоны глубинных разломов: 11 – Адыча-Тарынского (Адыча-Тарынской сурьмяно-золоторудной минерагенической зоны); 12 – Мугурдах-Селериканского; 13 – поперечные магматические ряды; рудные месторождения и проявления: 15 – золото-кварцевые, промышленно значимые (а), средние и мелкие (б) и проявления (в), Базовское месторождение выделено оранжевым цветом; 16 – золото-сурьмяные, промышленно значимые (а), средние и мелкие (б) и проявления (в); 17 – золото-редкометалльные (Au-Te-Bi); 18 – Мало-Тарынского полигенное месторождение золота; 19 – олово-серебро-полиметаллические; 20 – молибден-вольфрамовые; 21 – касситерит-сульфидные; 22 – рудники.



## **1.2 Анализ структурно-тектонических условий локализации золоторудной минерализации**

### **1.2.1 Региональная позиция северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла**

Адыча-Тарынский разлом является главным тектоническим элементом строения зоны сочленения структур Колымо-Омолонского микроконтинента и Верхоянской континентальной окраины. Разлом протягивается в северо-западном направлении более чем на 900 км и состоит из отдельных ветвей, между которыми заключены тектонические зоны, выделяемые в качестве самостоятельных геологических структур – Джолакаг-Нерская, Тарыно-Эльгинская, Тарын-Юряхская и др. (рис.2). Ранее проведенные исследования выявили сложное складчато-надвиговое или взбросо-сдвиговое строение этих зон (Парфенов, Рожин, 1988; Оксман 2005; Тектоника... 2001).

Более сложный характер имеют проявления сдвиговых деформаций, изученные на разных участках Адыча-Тарынской зоны разломов и определившие различия в условиях деформирования ее отдельных сегментов. Тарынский сегмент расположен на юго-восточном окончании Адыча-Тарынской зоны разломов. Структура сегмента сформирована в области перекрытия Адыча-Тарынского и Брюнгадинского разломов и определяется крупным z-образным изгибом складчатых структур протяженностью 60-80 км, сложенных породами поздне триасового и раннеюрского возраста. Картируемые складки представлены широкими коробчатыми антиклиналями – Пильская и Курдатская, разделенные узкой Мало-Тарынской синклиналью. Малтано-Саннинский рудно-россыпной узел локализован в осевой части Адыча-Тарынской зоны разломов, в клиновидном блоке терригенных пород поздне триасового возраста, ограниченном двумя разрывными ветвями, трассирующимися речными долинами Большого и Малого Тарынов.

Ранние деформации (видимые в обнажениях) представлены послойными срывами взбросо-надвиговой кинематики, которые деформированы в процессе складчатого изгиба толщ и кливажем сланцеватости  $S_1$ , образующим сходящий веер и фиксируемым только в алевролитовых и аргиллитовых слоях. Складки различной морфологии, преобладают открытые, реже сжатые формы цилиндрической геометрии, шарниры которых полого погружаются как на север и северо-запад, так и на юг – юго-восток. Осевые плоскости складок прямые и слабонаклонные к востоку или западу. Параллельно осевым плоскостям складок развивается кливаж осевой плоскости  $S_2$ , вдоль которого фиксируется b-линейность пересечения кливажа  $S_2$ , кливажа сланцеватости  $S_1$  (в алевролитах) и слоистости.



Рис. 2. Схема геологического строения Тарыно-Эльгинского участка Адыча-Тарынской зоны разломов (Войтенко, 2009).

- Отложения:
- 1 – четвертичные, Q;
  - 2 – юрские, J;
  - 3 – норийские, T<sub>3n</sub>;
  - 4 – карнийские, T<sub>3k</sub>;
  - 5 – интрузивные и субвулканические тела кислого состава;
  - 6 – дайки разного состава;
  - 7 – осевая часть Адыча-Тарынского глубинного разлома;
  - 8 – разломы взбросо-сдвиги субширотные
  - 9 – населенные пункты и их названия
  - 10 – месторождения и их названия
  - 11 – проявления и точки минерализации
- Ранние деформации являются прямым продолжением складчато-надвиговых структур и связаны с процессами скольжения вдоль плоскостей кливажа S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub> и трансформацией соскладчатых взбросов и надвигов в левосторонние взбросо- и сбросо-сдвиги.

Вдоль плоскостей кливажа фиксируются косые борозды и зеркала скольжения, изогнутая в-линейность, трещины кливажа искривляются в виде кулис, между которыми формируются линзовидные блоки, вытянутые длинными осями вдоль падения сместителей разломов. Круто ориентированные линзы часто изогнуты; трещины кливажа выполнены прожилками

кварцевого, кварц-хлоритового, кварц-карбонатного состава, эшелонированное расположение которых указывает на лево-сдвиговые перемещения.

Поздние сдвиговые деформации фиксируются вдоль разрывных нарушений субширотного простирания (восток-северо-восток). В крыльях этих разрывных нарушений слоистость и плоскости кливажа  $S_1$  и  $S_2$  подгибаются под преобладающие правосторонние перемещения вдоль разломов, на азимутальных проекциях совокупность нормалей к этим плоскостям формируют малокруговую ориентировку, подтверждающие сдвиговые перемещения вдоль разломов. Кроме сдвиговой кинематики, вдоль широтных разломов фиксируется и сбросовые перемещения, отдельность широтного простирания (затушевывающая слоистость и кливаж ранних стадий) и дайки, представленные цепочками т.н. «бескорневых» тел.

Ранние сдвиговые деформации вдоль разрывных нарушений северо-западного простирания и поздние сдвиговые деформации вдоль разрывных нарушений широтного простирания увязываются в структурный парагенезис формирования глубинного Адыча-Тарынского разлома, однако, в верхних горизонтах земной коры (и на поверхности) выраженного только в закономерном кулисообразном чередовании узких складчато-надвиговых структур северо-западного простирания и сдвиговых зон широтного простирания.

Аналогичное строение наблюдается, как в Дора-Пильском рудно-россыпном узле на юго-востоке, так и на Базовском рудном узле на северо-западе Тарыно-Эльгинского участка Адыча-Тарынского разлома. Установленные взаимоотношения согласуются с установленными закономерностями для региональных разломов Верхне-Колымского района (Шахтыров, 2009), в частности, для Тенькинского разлома, считающегося юго-восточным продолжением Адыча-Тарынской зоны разломов.

### **1.2.2 Структура Малтанского рудного поля**

Структура Малтано-Саннинского рудно-россыпного узла выявлена по результатам линеamentного анализа ортофотопланов лицензионной площади (композитов видимого диапазона от 3.09.2013), крупномасштабных геологических карт и схем предшественников, геологических маршрутов и структурного анализа ориентировки слоистости, кливажа сланцеватости, кливажа разлома, осевой плоскости, трещин отдельности, жильно-прожилковых и дайковых тел.

Структурный анализ проводился на основе обработки пространственно привязанных данных об ориентировке слоистости (150 замера), кливажа, жильно-прожилковых тел и даек (359 замеров).

В пределах лицензионной площади Малтано-Саннинского рудно-россыпного узла выделяются четыре крупных структурных домена. Два из них расположены по периферии рассматриваемого участка и представляют собой моноклинали с общим падением слоистости в северо-восточных румбах. Два структурных домена расположены в центральной части и представляют собой Z-образно изогнутые конические складки с круто погружающимися шарнирами (от 34° до 64°) в восточных румбах. В целом, два центральных домена можно считать фрагментами крупной (шириной около 5 км) зоны смятия запад-северо-западного простиранья (рис. 3)

#### 1.2.2.1 Северо-восточный моноклиналильный домен (Аппа)

Северо-восточный моноклиналильный домен представляет собой крутопадающую (44°) на северо-восток моноклиналиль северо-западного (315-320°) простиранья, которая нарушена сбросами северо-восточного и сбросо-сдвигами восток-северо-восточного простираний (рис. 3 1А, табл.1). Моноклиналильное строение домена осложнено мелкими (4-го и 5-го порядков) наклонными складками и многочисленными послойными срывами надвиговой кинематики, анализ плоскостных элементов которых позволяет вычислить шарнир, почти горизонтально погружающийся на северо-запад.

Кливаж сланцеватости в северо-восточном домене ориентирован субпараллельно слоистости ( $S_1$ ), а трещины отдельности ориентированы: субперпендикулярно слоистости и параллельно поясу складки ( $S_2$ ); перпендикулярно слоистости и поясу складки ( $S_t$ ). В целом эти основные ориентировки образуют тройственную систему трещин скалывания (рис. 3 1А, 1Б, табл. 1): надвиговой кинематики ( $S_1$ ), растяжения ( $S_t$ ) и сочетания сдвига с растяжением ( $S_2$ ).

Сравнение ориентировок жильно-прожилковых тел, кливажа и слоистости северо-восточного домена показала, что карбонат-кварцевые жилы, в том числе золотоносные, расположены вдоль плоскостей слоистости (часто катаклазированные и будинированные) и косесекущие к системе трещин  $S_2$  (кливажу разлома), расположенных вдоль пояса складки. Жильно-прожилковые тела, расположенные вдоль плоскостей растяжения, перпендикулярных слоистости ( $S_t$ ), в северо-восточном домене не наблюдались (рис. 3 1Б, табл. 1)

Представленные закономерности расположения жильно-прожилковых тел указывают на отсутствие широкого развития кулисообразных жил (вдоль  $S_1$ ) внутри пачек песчаников, синхронного с формированием складок, как, например, на Базовском месторождении (Третьяков, 2006, Войтенко, 2014), а расположение жил вдоль  $S_2$ , фиксирующих разрывные нарушения восток-северо-восточного простирания может указывать на растяжение вдоль шарниров складок. Вышеизложенные выводы подтверждают наблюдения по ориентировке золотоносных жильно-прожилковых тел проявлений Аппа и Сана, расположенных в северо-восточном домене (Аристов и др. 2006, Третьяков, 2009, Крючков, Крючкова, 2011, Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2013).

#### 1.2.2.2 Центральные структурные домены (Долинный, Малтан, Центральный).

Центральные структурные домены представляют собой широкую (около 5 км) зону смятия северо-западного простирания, внутри которой наблюдаются Z-образно изогнутые в плане конические складки с круто погружающимися шарнирами ( $59-64^\circ$ ) в восточных румбах и разрывные нарушения северо-западного простирания (рис. 3 2А, 3А, табл.1). К разрывным нарушениям северо-западного простирания пространственно приурочено месторождение Малтан и большинство рудных зон (Зоны 1-7), в центральной части Z-образно изогнутом послойном срыве расположена Зона Долинная, а на южной границе зоны смятия расположено проявление «Зона Центральная».

Малокруговая ориентировка полюсов слоистости указывает именно на конические складки с субвертикальным расположением шарниров, являющиеся одним из однозначных признаков зон сдвига (смятия). Наши структурные данные не подтверждают выделение «поперечной складчатости» на Малтанском рудном поле (Крючков, Крючкова, 2011, рис.3.3.2, С.62, С.65; Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014, рис.2, С.53). Выявленные неоднородности в геологическом строении подкрепляют и более подробно описывают именно приразломный характер складчатости, выявленный ранее. Подобный изгиб структур имеет приразломный характер и связан с левосторонними сдвиговыми перемещениями вдоль зоны секущих разломов северо-западного простирания (Задорожный, Тихонова, 2011).

К этим разломам приурочена серия сближенных рудных зон (№№ 1-7), в пределах которых установлено дробление золото-кварцевых тел и цементация их более поздней антимонитовой минерализацией.

Наиболее детально изученной является рудная зона №1, вмещающая месторождение Малтан и разделяющая зону смятия на два структурных домена.

Морфологически это зона смятия и дробления, в которой тектонически перерабатываются ранние золото-кварцевые жильно-прожилковые образования, сложенные альбит-кварцевой, серицит-доломит-кварцевой с арсенопиритом и пиритом и сульфoантимонит-кварцевой ассоциациями. Жилы и прожилки кварц-антимонитового состава пронизывают зону смятия и пересекают ранние золото-кварцевые прожилки. Для них характерна низкая степень деформаций без признаков перекристаллизации.

С учетом характера разлинзования жил, подворотов пластов пород и систем оперяющих трещин, наблюдаемых в обрывах р. Малый Тарын, были установлены левосторонние взбросо-сдвиговые перемещения вдоль разлома, вмещающего рудную зону №1. Лево-сдвиговые деформации сопровождались образованием трещин кливажа северо-восточного простирания, которые залечены наиболее поздней анкерит-диккитовой минерализацией (Задорожный, Тихонова, 2011).

Из-за особенностей в ориентировке слоистости, количестве систем кливажа и жильно-прожилковых тел северо-восточный и юго-западный структурные домены зоны смятия, разделенные разрывным нарушением Зоны 1-2, описываются отдельно.

В северо-восточном домене зоны смятия наблюдается слабая поясовая ориентировка полюсов к кливажу, с пологим погружением шарнира на юго-запад. Тем не менее, чаще других встречаются три основные системы кливажа: две субвертикальные восток-северо-восточного простирания  $S_2$  и одна полого падающая на юго-юго-запад  $S_1$ . Эти системы кливажа хорошо наблюдаются практически на каждом обнажении в пределах зоны смятия (рис. 3 2А, 2Б, табл. 1).



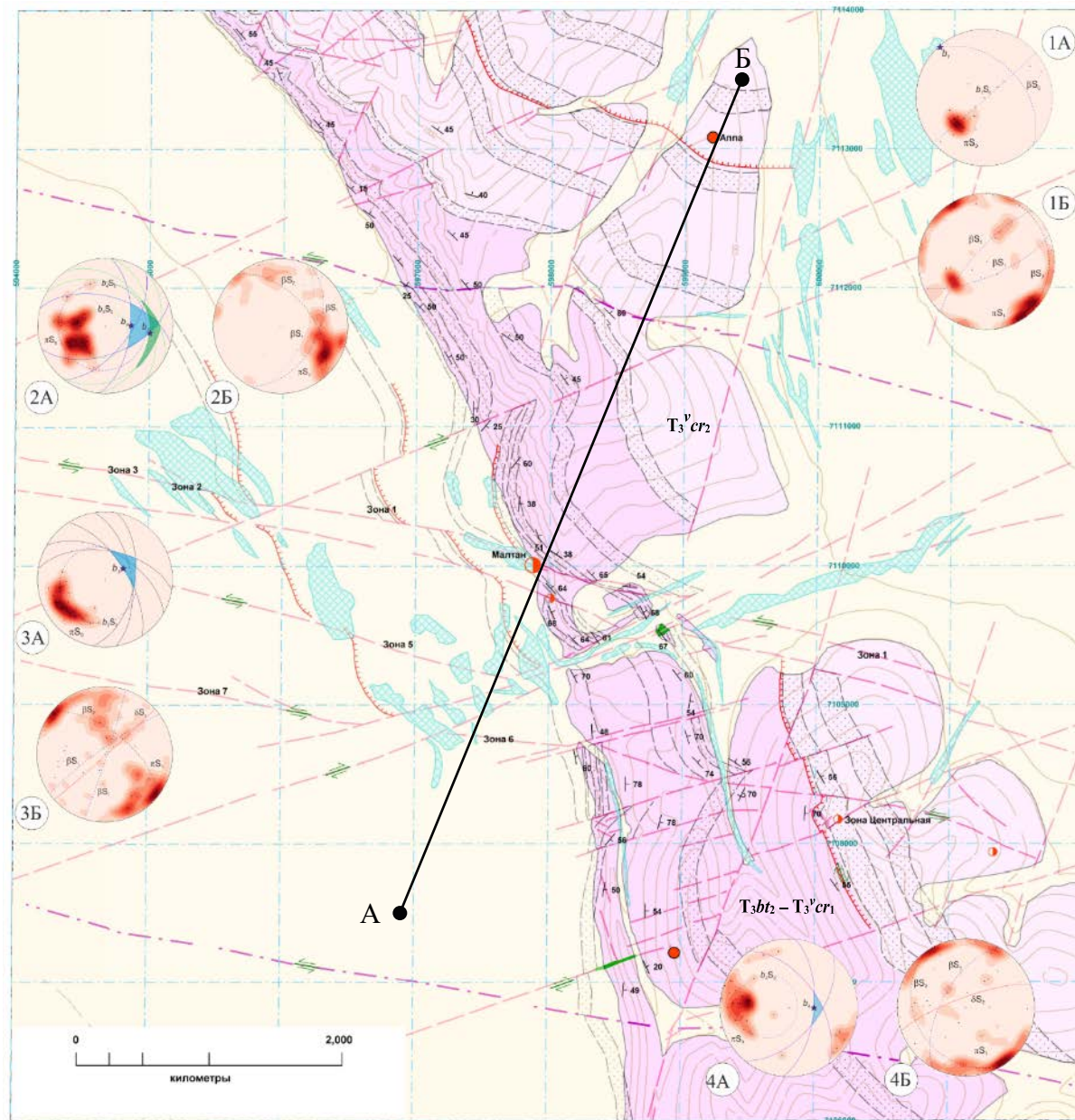


Рис. 3. Структурно-геологическая схема центральной части Маланского рудного поля, с использованием материалов (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014):

На азимутальных проекциях показаны:

1А-4А – концентрации полюсов слоистости (в изолиниях и точках (ромбики черного цвета))

1Б-4Б – ориентировка кливажа  $S_1$ ,  $S_2$  и  $St$  (в изолиниях и жильно-прожилковых тел (ромбики голубого цвета))

Основные плоскости:

$\beta S_0$  – слоистости

Полюса к:

$\pi S_0$  – слоистости;  $\pi S_1$  – кливажу

$b_{1,2} S_0$  – пояса складок, в т.ч. конических

$b_{1, 3, 4, 5}$  – шарниры складок

Пояса:

$\beta S_1$  – кливажа сланцеватости, слоистости

$\beta S_2$  – кливажа разлома, осевой плоскости

$\beta S_t$  – трещин отдельности, растяжения

$\delta S_2$  – основные плоскости даек и их апофиз

Домены:

1 – северо-восточное крыло Маланской зоны смятия, включая проявления Аппа и Сана, моноклинальное залегание;

2 – северо-восточная часть Маланской зоны смятия, Z-образные складки с круто погружающимися шарнирами («поперечная складчатость»);

3 – юго-западная часть Маланской зоны смятия, Z-образные складки с круто погружающимися шарнирами («поперечная складчатость»); 3В – субширотные участки зон сдвига; домен включает месторождение Малтан, зоны 1-7 (участок «Долинный»), юго-восточную часть Зоны 1 месторождения Малтан и участок «Центральный»;

4 – юго-западное крыло Маланской зоны смятия, включая проявление Пшенное.

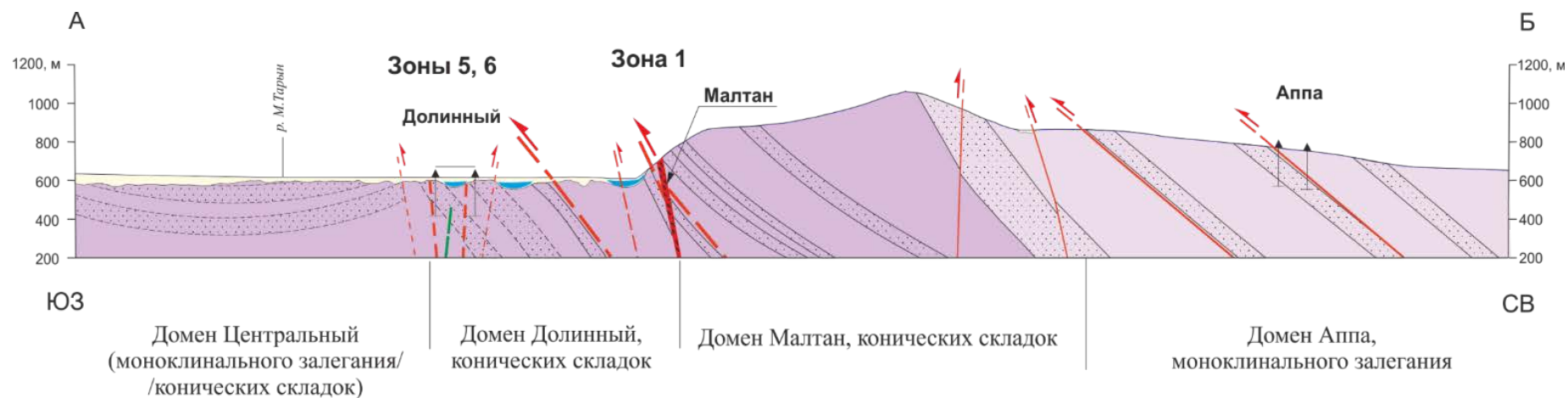


Рис. 4. Разрез по линии АБ (составлен Родионовой А.В.)



Система	Отдел	Ярус (подотдел)	Зона	Индекс	Колонка	Мощность в м	Характеристика подразделений
Т Р И А С О В А Я	НЕОГЕН	плиоцен		$N_2hm$		36 м	Хмуровская свита. Аллювиальные гравийные галечники с песками, суглинками, глинами и щебнем
		нижний		$N_2mr$		до 40 м	Морозовская свита. Аллювиальные галечники со щебнем, суглинки, супеси, торф
	В Е Р Х Н И Й	НО Р И Й С К И Й	Monotis ochotica	$T_3^{vcr_1}$		450 - 650	Верхняя подсвита. Ритмичное чередование пластов песчаников, слоистых песчаниково-алевролитовых пачек и слоистых существенно алевролитовых пачек с увеличением доли алевролитовых пачек в верхней части. Редкие линзы конгломератов. Остатки <i>Monotis ochotica</i> (Keys.), <i>M. cf. ochotica densistriata</i> Tell., <i>M.</i>
				$T_3^{vcr_2}$		500 - 600	Средняя подсвита. Чередование пачек ( 25-180 м ) песчаников, содержащих редкие прослои алевролитов, и пачек ( 80-270 м ) переслаивания песчаников, алевролитов и алевропесчаников. В нижней части разреза в пластах песчаников распространены линзовидные прослои извесковистых песчаников. Остатки <i>Monotis jakutica</i> (Tell.), <i>M. zabaikalica</i> (Kipar.), <i>M. pachypleura</i> (Tell.), <i>M. ochotica</i> (Keys.), <i>Oxytoma mojsisovici</i> (Tell.)
			Eomonotis scutiformis	$T_3^{vcr_1}$		500 - 650	Нижняя подсвита. Ритмичное чередование пластов песчаников ( 10-30 м ) и алевролитов ( 10-40 м ). Внизу и вверх алевролиты с редкими пластами ( 1-20 м ) песчаников. Остатки <i>Eomonotis scutiformis</i> (Tell.), <i>E. cf. multicostata</i> (Kipar.), <i>Tosapekten cf. subhiemalis</i> (Kipar.)
			Otapiria ussuriensis	$T_1bt_2$		950 - 1000	Верхняя подсвита. Чередование пластов ( 5-150 м ) песчаников и пачек ( 15-240 м ) переслаивания песчаников и алевролитов. В алевролитах и песчаниках наблюдаются линзовидные прослои ( 5-15 см ) конгломератов. Остатки <i>Otapiria cf. ussuriensis</i> (Vor.), <i>Tosapekten</i> sp. indet.
							ЧЕРНЯЯ СВИТА
							БЫТАХСКАЯ СВИТА

Рис. 5. Стратиграфическая колонка Малтанского рудного поля (по материалам Калашников, Аверченко, Федорова, 2005).

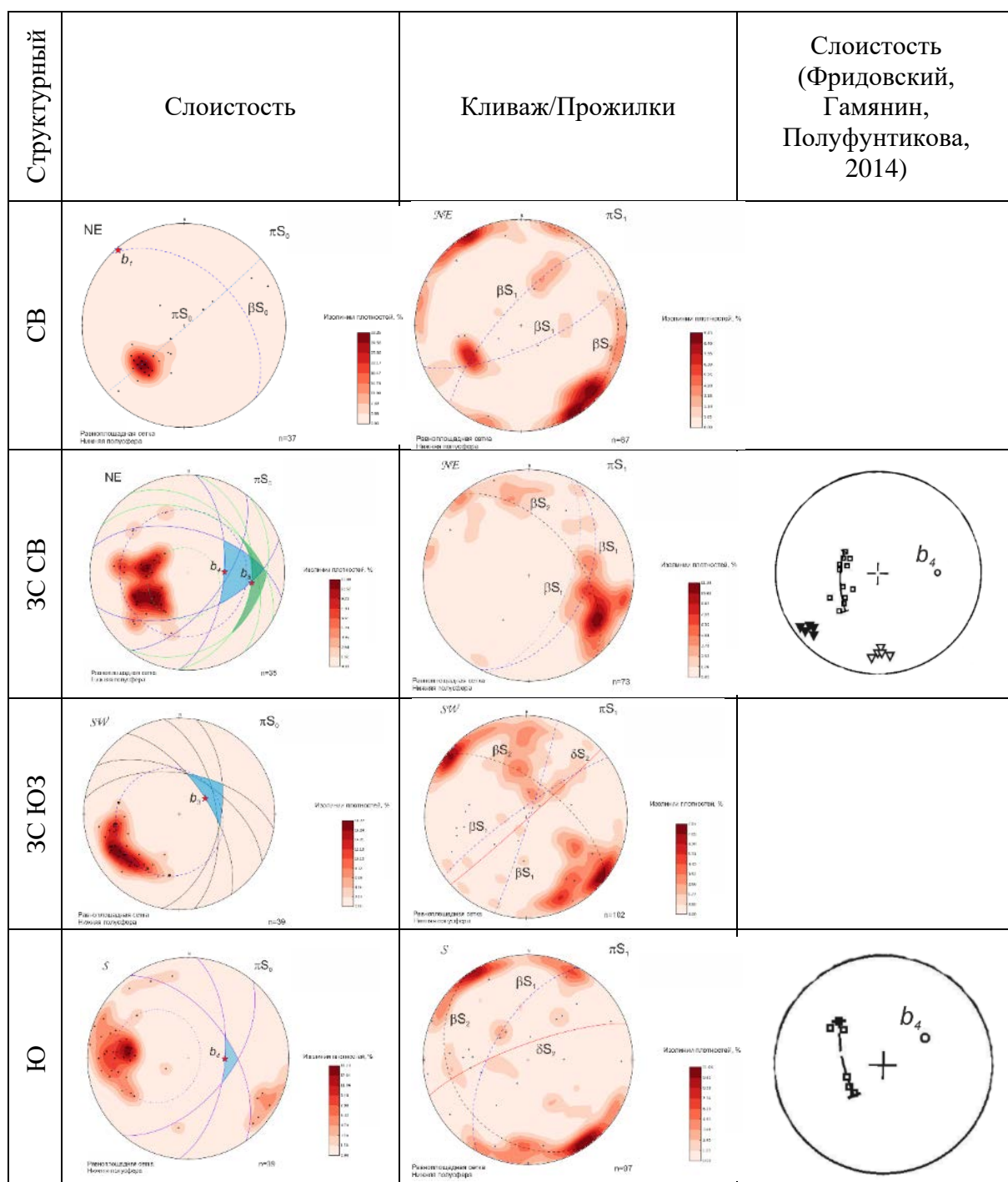


Таблица 1. Ориентировка слоистости, кливажа и жильно-прожилковых тел структурных доменов Малтанского рудного поля. Сетка Шмидта, нижняя полусфера. Составлена Родионовой А.В.

Условные обозначения: ■ – полюса к слоистости ( $\pi S_0$  и  $\pi S_1$ ); ♦ – полюса к жилам и прожилкам; пунктирная линия – пояса складок;  $\beta S_1$  – пояс кливажа сланцеватости, слоистости;  $\beta S_2$  – пояс кливажа разлома, осевой плоскости;  $\beta S_3$  – пояс трещин отдельности, растяжения;  $\delta S_2$  – основные плоскости даек и их апофиз;  $b_{1, 3, 4, 5}$  – шарниры складок; зеленый и голубые треугольники – направление погружения шарнира.

В ориентировке жильно-прожилковых тел также можно выделить три системы. Это система  $\beta S_2$ , косо ориентированная к системе кливажа  $S_2$ , круто падающего на северо-северо-запад; система  $\beta S_t$ , наследующая полого падающую на юго-запад систему отдельности  $S_t$  и субвертикальную  $\beta S_1$ , совпадающую с поясовой ориентировкой полюсов к кливажу  $S_1$  (нормали к жильно-прожилковым телам и шарнир распределения полюсов к кливажу вдоль дуги большого круга совпадают) и средней плоскостью слоистости  $S_0$  (рис. 3 2Б, табл. 1).

Следует отметить некоторую преемственность в ориентировке жильно-прожилковых тел в зоне смятия от северо-восточного домена (системы  $\beta S_1$ ,  $\beta S_2$ ). В зоне смятия, к этим двум системам добавляется третья пологая система  $S_t$ . Формирование пологой системы жильно-прожилковых тел всегда указывает на растяжение по вертикальной оси, которое может быть обусловлено как горизонтальным односторонним сжатием (надвиг) или обжатием (сдвиг).

В юго-западном домене зоны смятия также наблюдается слабая поясовая ориентировка полюсов к кливажу, с пологим погружением шарнира на юго-запад. Также, чаще других встречаются три основные системы кливажа: две субвертикальные восток-северо-восточного простирания  $S_2$  и одна круто падающая на юго-юго-восток  $S_t$ . Эти системы кливажа хорошо наблюдаются практически на каждом обнажении в пределах зоны смятия (рис. 3 3А, 3Б, табл. 1).

В ориентировке жильно-прожилковых тел также можно выделить три системы. Это система  $\beta S_{2a}$ , косо ориентированная к системе кливажа  $S_2$ , круто падающего на северо-северо-запад; система  $\beta S_t$ , наследующая полого падающую на юго-запад систему отдельности  $S_t$  и субвертикальную  $\beta S_1$ , совпадающую с поясовой ориентировкой полюсов к кливажу  $S_1$  (нормали к жильно-прожилковым телам и шарнир распределения полюсов к кливажу вдоль дуги большого круга совпадают) и средней плоскостью слоистости  $S_0$ . К системе кливажа  $S_2$ , круто падающего на юго-юго-восток, пространственно приурочены маломощные (1-2 см) апофизы дайковых пород (рис. 3 3Б, табл. 1).

Юго-восточный структурный домен представляет собой крутопадающую ( $48^\circ$ ) на восток моноклиналь субмеридионального простирания, которая нарушена сбросами северо-восточного и сбросо-сдвигами восток-северо-восточного простираний. К последним разломам пространственно приурочены цепочки бескорневых дайковых тел. В распределении полюсов к слоистости наблюдается слабая малокруговая ориентировка

(рис. 3 4А,4Б, табл. 1). Моноклиналиное строение домена осложнено мелкими (4-го и 5-го порядков) наклонными складками и многочисленными послойными срывами надвиговой кинематики.

В ориентировке полюсов к кливажу наблюдается два сильных максимума: первый  $S_1$ , совпадающий с вычисленным шарниром складки (в плоскости пояса складки); второй, совпадающий с ориентировкой кливажа  $S_2$  в северо-восточных доменах. Кроме этого отмечается широкий слабо выраженный пояс полюсов к кливажу с полого погружающимся шарниром на юго-юго-восток. Эти трещины кливажа, практически всегда залечены жильно-прожилковыми телами, с пологим падением усредненной плоскости на юго-юго-восток (рис. 3 4Б, табл. 1). Второй главной ориентировкой жильно-прожилковых тел являются послойные срывы, в одном из которых расположено проявление Зона Центральная.

Проявление «Зона Центральная» расположена на южной границе зоны смятия (граница 3-го и 4-го структурных доменов), протягивается в субмеридиональном направлении ( $340-10^\circ$ ) и представлена серией межпластовых линзовидных жил мощностью до 1,0-1,5 м. Эти жилы выполняют полости отслоения вдоль поверхности литологических срывов, которые приурочены к основанию пласта грубозернистых песчаников. Жилы сложены массивным, в разной степени динамо-метаморфизованным бертьерит-антимонитовым агрегатом с подчиненным количеством катаклазированного материала ранних золото-кварцевых жил.

О механизме формирования жильных тел рудной зоны Центральная можно судить по ее строению, изученному в эксплуатационном карьере. Здесь, вдоль контактов жил кварц-антимонитового состава установлено брекчирование ранних кварц-анкеритовых прожилков с сульфоантимонитовой минерализацией. Образование разновозрастных минеральных ассоциаций разделено тектоническими подвижками, о чем свидетельствуют сорванные контакты между ними с косыми зеркалами скольжения взбросо- и сбросо-сдвигового типа. При этом срывы, вмещающие жилы, в лежащем крыле сопровождаются мелкими складками волочения, асимметрия которых указывает на более ранний надвиговой тип перемещений, предшествующий сурьмяной минерализации.

На отдельных участках складки волочения сопровождаются ранним реликтовым кливажем  $S_1$ , который параллелен осевым поверхностям складок и залечен прожилками анкерит (доломит)- кварцевого состава. Кварц-антимонитовые прожилки пересекают последние и локализуются в субвертикальных трещинах отрыва, которые

ориентированы поперек пород, смятых в складках. Подобная ориентировка прожилков свидетельствует о сдвиговых перемещениях пород в плоскости напластования, в процессе которых кварц-антимонитовая минерализация телескопирует ранние межпластовые жилы золото-кварцевой формации (Задорожный, Тихонова, 2011).

По форме рудного тела «Зоны Центральной» можно судить по совмещенному плану эксплуатационного карьера и разведочной штольни. На котором фиксируется, что максимальные мощности рудного тела пространственно ограничены с одной стороны послынным срывом изогнутым в коническую складку, с другой стороны – сбросо-сдвигом восток-северо-восточного простирания (рис.3). Эти разрывные структуры фиксируются как на поверхности в эксплуатационном карьере, так и в кровле штольни. По данным минералогических исследований образцов из керна скважин участка «Зона Центральная», самородное золото наблюдается также только к северу от разрывного нарушения восток-северо-восточного простирания висячем его крыле. Совокупность приведенных фактов позволяет предположить о столбовом характере оруденения участка «Зона Центральная», ось которого круто погружается на северо-восток. Столбовой характер оруденения можно предположить и для зоны «Долинной», которая расположена в аналогичной структурной ситуации (на границе 2-го и 3-го структурных доменов зоны смятия).

## 2. Литологические и петрографические особенности рудовмещающих пород

### 2.1 Литологические особенности

Площадь Малтано-Санинского рудно-россыпного узла сложена породами верхоянского комплекса позднего триаса (Тп<sub>2</sub>-Тп<sub>3</sub>): алевролитами и аргиллитами с подчиненным количеством песчаников. Широкое распространение имеет фауна двустворчатых моллюсков и наутилоидей. В центральной части рудного района, на юго-восток от Малтано-Санинского рудно-россыпного узла, развиты нижнеюрские существенно глинистые отложения, которые играли роль структурного экрана для золотого оруденения (Имаметдинов и др., 2011).

Рудовмещающие отложения можно подразделить на две крупные пачки: нижняя алевролитовая нерасчленённая (средненорийские стратиграфические зоны *Otapiria ussuriensis* + *Monotis scutiformis*) и верхняя песчанистая (верхненорийская зона *Monotis ochotica*). В результате полевых работ отпечатки и ядра двустворчатых моллюсков были найдены только в пределах участка «Зона Центральная», который расположен на границе двух крупных зон *M. Scutiformis* и *M. Ochotica*. Вид двустворчатых моллюсков (*Monotis jakutica*) позволил подтвердить выделенную стратиграфическую границу, пространственно совпадающую с литологической зоной перехода от толщи углеродистых алевролитов к толще грубого переслаивания песчанистых пачек и алевролитов (рис. 6).

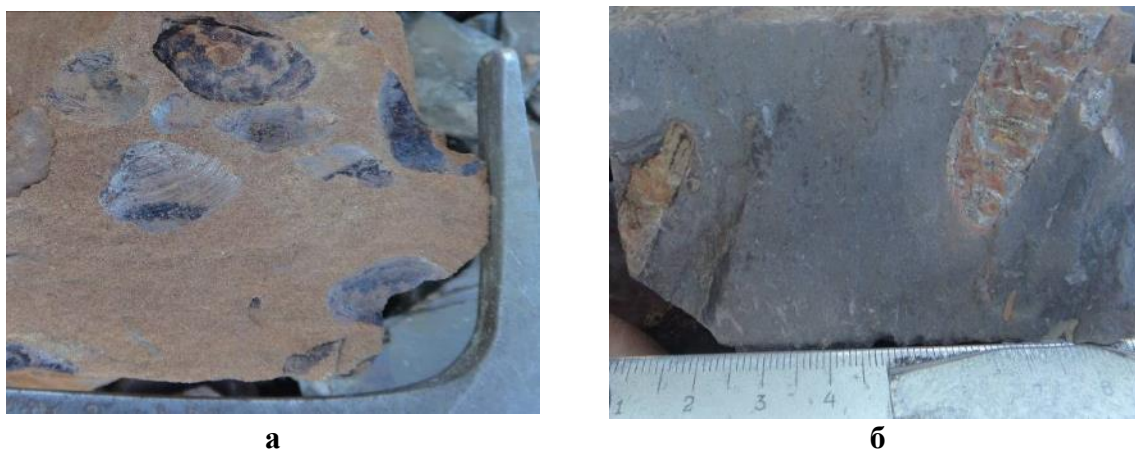
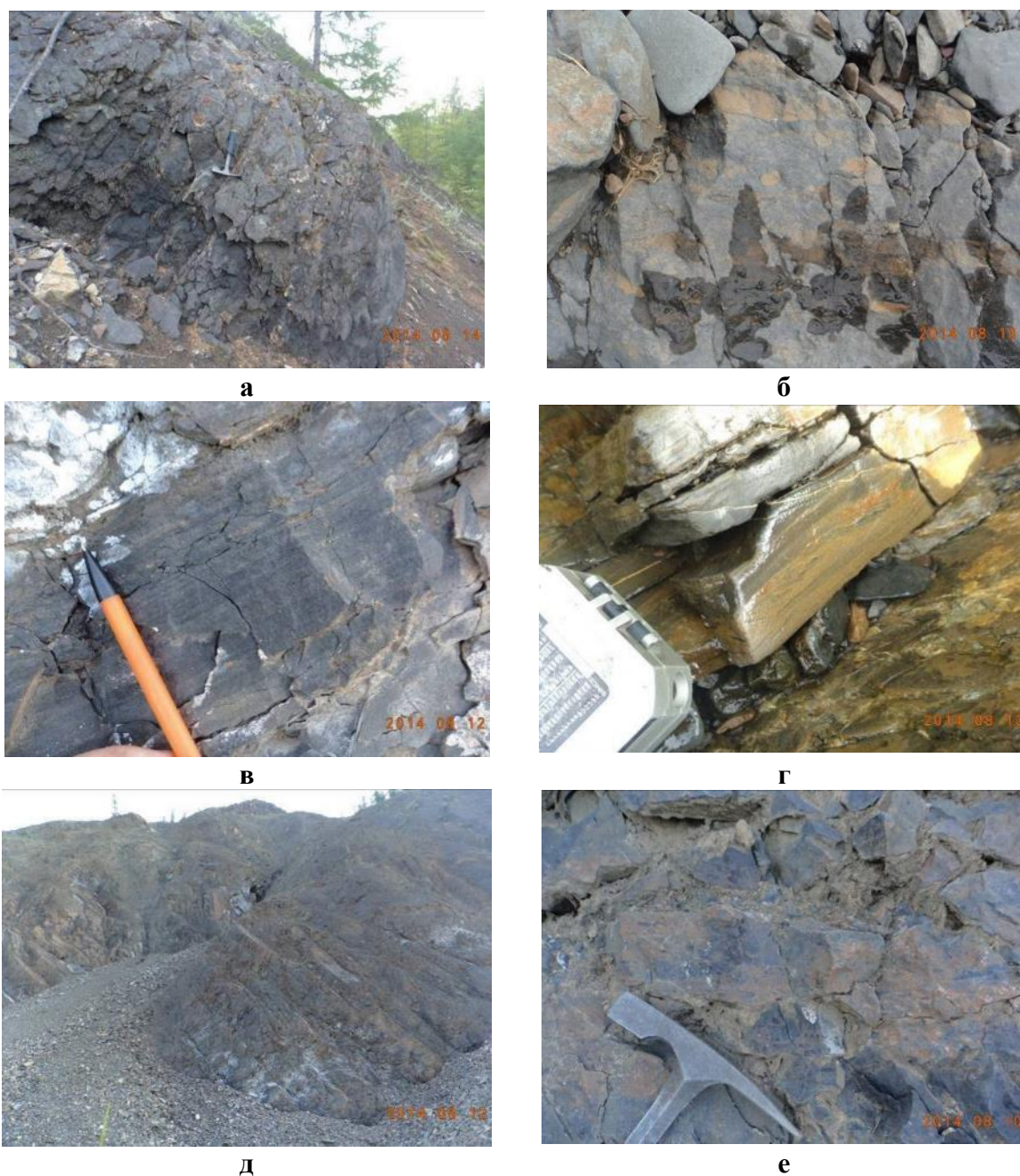


Рис. 6. Палеонтологические остатки морского и терригенного происхождения в песчанистых пачках основания бургаганского горизонта: а – отпечатки и ядра двустворок *Monotis jakutica*, тн М4; б – пиритизированные фрагменты отпечатков листьев и стеблей папоротникообразных и хвощевидных растений, тн М4. (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014)

По результатам детального документирования керна скважин участка «Долина Малого Тарына» в 2014 году, несмотря на внешнюю однородность алевролитов, удалось



выделить несколько литотипов. Выделение этих литотипов позволяет коррелировать слои и пачки алевролитов в геологических разрезах.



**Рис. 7. Литологические особенности пачек ненкальского горизонта аргиллитового, алевролитового и песчанистого состава (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014):**

**а** – углеродистые аргиллит-алевролитовые пачки с массивной текстурой, тн М28; **б** – пачка углеродистых алевролитов с комковатой текстурой, тн М16; **в** – пачка тонкослоистого переслаивания углеродистых аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых песчаников, тн М12; **г** – встречная косая слоистость ряби течения в пачке переслаивания алевролитов и песчаников, тн М25; **д** – пачки грубого переслаивания мощных слоев песчаников и алевролитов – структуры домино, тн 14, 13; **е** – пачки углеродистых алевролитов с оползневой текстурой.

Были выделены алевролитовые пачки со следующими текстурами: массивной, слойчатой (тонкослоистой), слойчатой с косой слоистостью ряби течения, оползневой, комковатой и хаотической (рис. 7 а-г, е).

Как правило, только для двух литотипов (по текстуре) характерны были следы биотурбирования осадка: хаотической (максимально нарушенной) и слойчатой. Кроме следов биотурбации осадка (ила) в породе отмечаются многочисленные следы жизнедеятельности ползающих микроорганизмов, палеонтологические останки мелких раковин двустворок, морских лилий и растительный детрит, многочисленные рассеянные в породе скопления фрамбоидального пирита и пиритовые конкреции. Последние образуют как хорошо прослеживаемые конкреционные горизонты, так и скопления беспорядочной формы, возможно, сюрмированные за счет размыва и переотложения осадка.

Песчанистые пачки в нижней толще углеродистых алевролитов с пиритовыми конкрециями являются маркирующими телами. Несмотря на тонко-, мелкозернистый состав песчаников, в обнажениях они отличаются часто более светлым тоном, редкими плоскостями кливажа, вдоль которых происходит поворот фрагментов с образованием домино-структур внутри зон смятия (рис. 7 д). Большинство проявлений Малтанского рудного поля пространственно именно на периферии (границах) песчаных пачек и пачек углеродистых алевролитов.

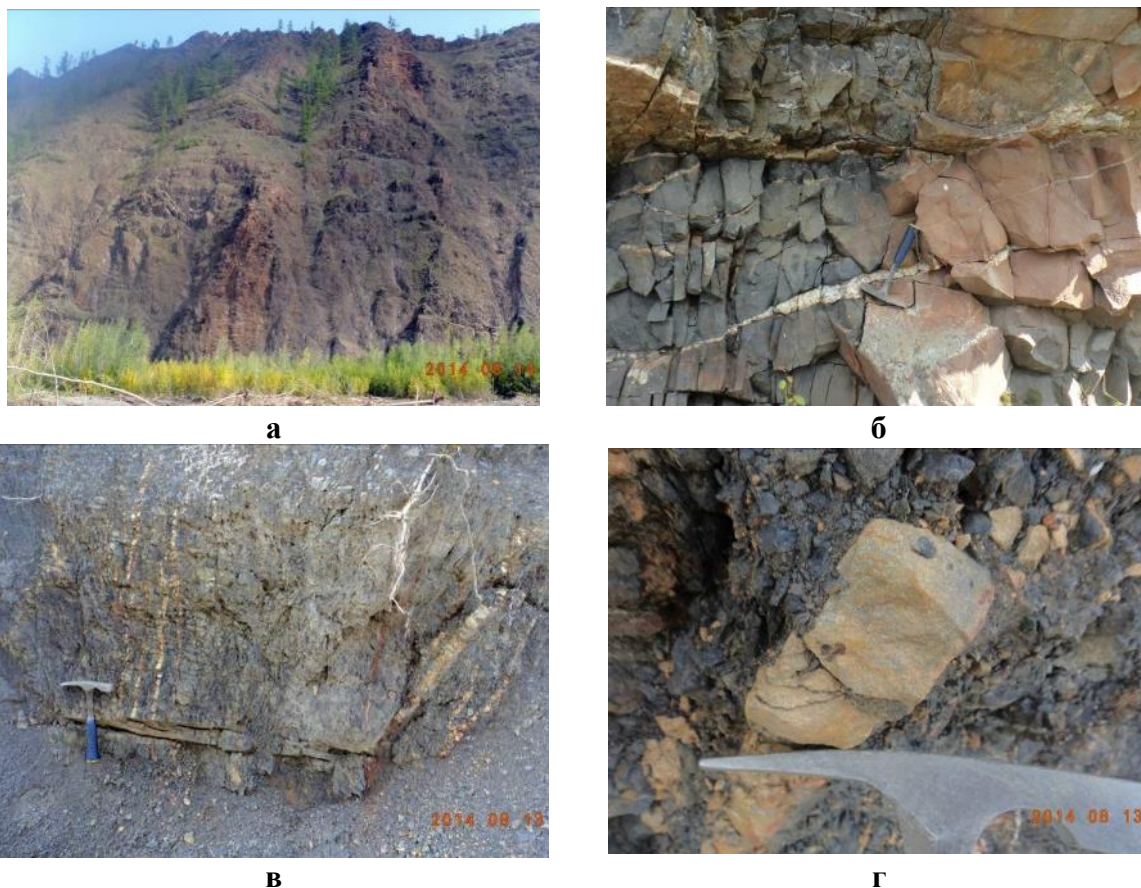
Интрузивные образования на Малтанском рудном поле немногочисленные. Наиболее крупное и хорошо обнажение дайковых пород находится на правом склоне р. Малый Тарын. Интрузивное тело представляет собой кулисообразно расположенные т.н. «бескорневые» тела, соединяющиеся между собой по типу horn-structure и многочисленными маломощными апофизами, параллельными основному простиранию дайки.

Наблюдаемый характер расположения интрузивных тел может характеризовать условия внедрения дайковых пород как сбросо-сдвиговые. Многочисленные трещины отрыва, заполненные карбонат-кварцевым материалом ориентированы субгоризонтально и, вероятно, фиксируют этап горизонтального растяжения при контракции интрузивного тела (рис. 8 а-б).

Отличительной особенностью дайковых пород является отсутствие поздних подвижек вдоль контактов интрузивных тел. Возможно, экзоконтакт и дайковая порода деформировались как единое спаянное жесткое тело.



Напротив, литологические контакты между песчанистыми и алевролитовыми пачками повсеместно нарушены послойными срывами, вдоль них наблюдаются тектонические глинки трения, карбонат-кварцевые жилы и их раздробленные фрагменты, зоны дробления и катаклаза (рис. 10 а-б). Именно к этим межпластовым полостям отрыва пространственно приурочены зоны смятия с золото-кварцевой и золото-сурьмяной минерализацией.



**Рис. 8. Интрузивные образования Малтанского рудного поля: а – кулисообразное (цепочечное) расположение «бескорневых» дайковых тел на правом берегу р.Малый Тарын, крупные дайковые тела соединяются между собой субпараллельными апофизами и соединениями типа horn-structure, тн М31; б – северная граница дайкового тела и вмещающей пачки углеродистых алевролитов, дайка и породы экзоконтакта разбиты субгоризонтальными короткими трещинами отрыва, фиксирующие этап вертикального растяжения при контракции интрузивного тела, тн М31. (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014)**

Ещё одной отличительной чертой рудовмещающих породы является повсеместная частая трещиноватость (кливаж сланцеватости  $S_1$ ). Эта трещиноватость формирует в алевролитах вертикальную листоватость, а в песчанистых пачках равномерные фрагменты, формирующие (при последующем изгибе слоистости) домино-структуры. Кроме кливажа сланцеватости, формирующегося при складкообразовании, на площади Малтанского рудного узла наиболее часто наблюдается субвертикальная отдельность северо-восточного простираения и полого залегающие сопряженные

трещины с меньшей частотой встречаемости (рис. 10 в-д). Субширотные разрывные нарушения, выделяемые по линеamentному анализу, в обнажениях представлены узкими зонами дробления и истирания (до глинки трения) и цепочечным расположением дайковых тел (рис. 8 а, рис. 10 е).

Вдоль границ литологических пачек, разнородных по реологическим свойствам расположены большинство жильно-прожилковых тел известных рудопроявлений и точек минерализации. В меньшей степени, жильно-прожилковые тела наследуют ориентировку различных трещинных структур, как правило, косо ориентированных к последним (рис. 9 б).



**Рис. 9. Жильно-прожилковые тела Малтанского рудного поля: а – субгоризонтальные жилы вертикального растяжения, тн М17; б-в – субвертикальные жилы, развивающиеся косо к кливажу разлома  $S_2$ , тн М27, 17; г – антимонитовая межпластовая жила с брекчиевидной текстурой, тн М5, проявление «Зона Центральная». (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014)**





а



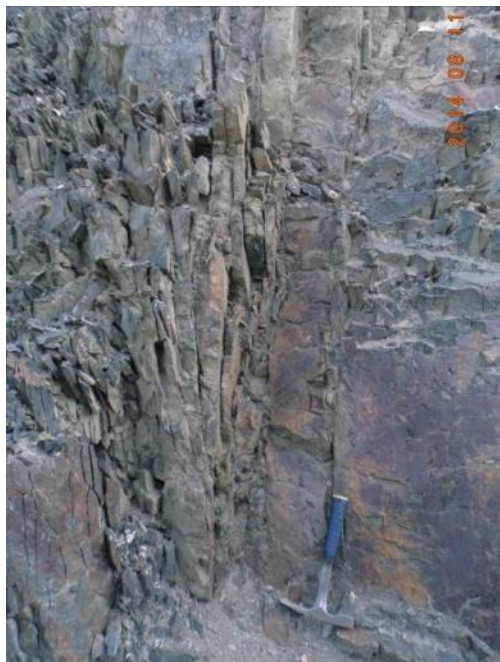
б



в



г



д



е

Рис. 10. Основные разрывные и трещинные структуры в осадочных породах малтанского рудного поля: а – тектоническая глина трения в подошве песчаной пачки с мелкозернистыми фрагментами карбонат-кварцевых жил, тн М7; б – зона дробления и катаклаза в послойном срыве песчанистой пачки, тн М7; в – соотношение слоистости  $S_0$  (горизонтальные плоскости) и кливажа сланцеватости  $S_1$  (частые вертикальные плоскости) в пачке переслаивания углеродистых алевролитов и тонкозернистых песчаников, тн М6; г – соотношение субвертикального кливажа разлома  $S_2$  (частые вертикальные трещины) и пологих трещин растяжения  $St$ , тн М22; д – узкие зоны с частыми плоскостями кливажа разлома  $S_2$ , тн М6; е – узкие зоны дробления восток-северо-восточного простирания, тн М13. (по материалам Войтенко, Тихонова, Козлов и др., 2014)

## 2.2 Особенности петрографического состава

### 2.2.1 Домен Центральный

Породы участка «Центральный», послужившие протолитом для дальнейших (в т.ч. и метасоматических) преобразований, представлены преимущественно песчаниками и алевролитами с резко подчиненным присутствием аргиллитов.

Обломочные породы зрелые, наблюдаются разности от мономиктовых кварцевых (подавляющее большинство) до олигомиктовых с содержанием полевых шпатов не более 20%. Модальная размерность обломков от алевритовой до тонко- и мелкозернистой псаммитовой.

Вероятно, столь мелкая размерность определила плохую окатанность зерен, вследствие их переноса во взвешенном состоянии на этапе седиментации.

Постседиментационные преобразования пород участка к моменту активизации метасоматических процессов достигли стадии позднего катагенеза – раннего метагенеза, о чем свидетельствует широкое распространение инкорпорационных и конформных структур.

Практически все образцы пород участка «Зона Центральная» за редким исключением несут на себе свидетельства тектонического воздействия, при этом зачастую присутствуют признаки многоэтапной тектонической переработки.

На уровне единичных зерен она фиксируется по появлению в аллотигенном кварце «классических» структурных признаков деформационного воздействия: наблюдаются волнистое погасание, необласты, фрагментация с образованием субзерен, деформационные ламели, миграция границ кварцевых зерен с фиксацией на лейстах обломочного и новообразованного мусковита.

В обломочном плагиоклазе установлены кинк-зоны и деформационные двойники. Деформированы и лейсты обломочного мусковита. Структурно-тектоническая переработка привела к широкому распространению проникающего кливажа, появлению систем минерализованных жил разнообразного состава и морфологии, их будинажу, вокруг рудных минералов в ряде случаев присутствуют «тени давления» (бороды нарастания).

По всей видимости, именно характер тектонического воздействия в большинстве случаев и являлся контролирующим для гидротермально-метасоматических процессов и сопряженного рудного минералообразования.

Постседиментационная история пород с учетом последовательности отложения в них рудных минералов представляется следующей:

I этап. Диагенетические и катагенетические преобразования пород.

II этап. Формирование систем жил, вещественно сходных с составом осадочных пород (карбонатных (Fe), сложных поликарбонатно (Fe)-кварцевых, кварцевых и кварц-пиритовых).

III этап. Формирование систем карбонатных и карбонатно-кварцевых жил и микроштокверков (с карбонатами Ca-Mg ряда).

IV этап. Основная фаза формирования проникающего кливажа.

V этап. Формирование рудных просечек и рудно-кварцевых прожилков и линзочек.

### **2.2.2 Домен Малтан**

Терригенные обломочные и хемогенно-обломочные породы участка «Малтан», послужившие протолитом для дальнейших (в т.ч. и метасоматических) преобразований, являются более тонкозернистыми, чем в пределах домена «Центральный» и представлены преимущественно алевролитами и алевроитистыми аргиллитами.

Обломочная компонента данных пород достаточно зрелая, с олигомиктовым (в редких случаях – аркозовым) составом, однако низкая степень окатанности обломков и существенное содержание полевых шпатов говорят о том, что осадки не подвергались многократному переотложению. Кроме того, возможно, содержание полевошпатовой составляющей занижено, так как полевые шпаты оказались малоустойчивыми в ходе наложенных процессов. Мелкий размер обломков и существенный объем глинистого материала свидетельствуют о том, что отложение данных осадков шло на удалении от береговой линии. Присутствие же текстур подводного оползания может являться результатом деформации неконсолидированных осадков в результате движения, вызванного гравитационным воздействием на палеосклоне.

Не столь широкое распространение конформных структур и практически полное отсутствие инкорпорационных могут указывать на то, что интенсивность постседиментационных преобразований пород участка к моменту активизации была несколько меньшей, чем на участке «Зона Центральная» (ранний катагенез?) или объясняться отсутствием обломков песчаной фракции, именно для которой и характерны конформные и инкорпорационные структуры.

### 2.2.3 Домен Долинный

Терригенные обломочные и хемогенно-обломочные породы участка «Долинный», послужившие протолитом для дальнейших (в т.ч. и метасоматических) преобразований, литологически очень однородны и представлены преимущественно алевритистыми аргиллитами и (в подчиненном количестве) алевролитами с реликтовой слоистостью. Обломочная компонента пород достаточно зрелая, с мономиктовым (кварцевым) составом обломков, однако, скорее всего, содержание полевошпатовой составляющей занижено, так как объем псевдоморфно замещенного полевого шпата не поддается оценке.

Мелкий размер обломков и существенный объем глинистого материала свидетельствуют о том, что отложение данных осадков шло на удалении от береговой линии. В большинстве образцов пород присутствуют интенсивно хлоритизированные участки, богатые органическим веществом (обугленные растительные остатки, водоросли, и пр.).

Кроме того, присутствуют текстурные признаки, которые можно проинтерпретировать как результат биотурбации осадка.

Не широкое распространение конформных структур и практически полное отсутствие инкорпорационных могут указывать на то, что интенсивность постседиментационных преобразований пород участка к моменту активизации была несколько меньшей, чем в домене «Центральный» (ранний катагенез?) или объясняться отсутствием обломков песчаной фракции, именно для которой и характерны конформные и инкорпорационные структуры.

## 2.3 Гидротермально-метасоматические образования

### 2.3.1 Домен Центральный

В продолжение петрографической характеристики пород домена «Центральный» необходимо отметить важный этап преобразования пород, заключающийся в повсеместном замещении рудных минералов гидроокислами железа и/или железистым карбонатом (возможно переотложение рудных фаз, в т.ч – и с концентрированием). К сожалению, не достаточно данных для определения места данного процесса в истории формирования пород участка. Так же несколько факторов создает определенную трудность в дифференциации наложенных процессов с выявлением метасоматических и в сопоставлении их с выше описанными этапами:

1. Общая слабая проявленность метасоматических процессов, в том числе – и околожильных. Наблюдающиеся преобразования аллотигенных минералов (появление регенерационных кайм вокруг кварцевых зерен, серицитизация и пелитизация полевых шпатов) скорее являются катагенетическими.

2. Присутствие в породах нескольких различных типов цементов, минеральный состав которых (карбонаты, гидрослюда, кварц, серицит, глинистые минералы группы каолинита) в совокупности с присутствующими аутигенными минералами (альбитом, пиритом) сам по себе характерен для метасоматических пород ряда формаций (березитов, аргиллизитов, кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов и др.).

3. Интенсивная микродеформация пород на фоне широкой распространенности карбонатов и кварца, т.е. минеральных фаз, активнейшим образом растворяющихся под давлением во флюидной среде (в качестве последней может выступать и равновесная с осадочными породами свободная вода). Это способствует их ремобилизации с осаждением за счет резкого пересыщения растворов при сбросе давления, например – в трещинных системах.

В связи с этим ниже приведенная последовательность метасоматических процессов является несколько условной. Наиболее ранние процессы метасоматической переработки, вероятно, являются **березитизацией**. На минеральном уровне она проявляется в присутствии жилок **II-III этапов**, содержащих кварц, разнообразные карбонаты, редкие зерна рудных минералов; в формировании кальцит-серицитового

цемента; в спорадически наблюдающемся замещении хлорита с образованием полиминеральных мусковит-кальцитовых псевдоморфоз (характерная особенность прогрессивной березитизации).

Появление в структуре ранних жилков участков, выполненных кристаллическим каолинитом, свидетельствует об *аргиллизитизации* на **V этапе** формирования пород участка (ассоциирующим с золото-сурьмяным этапом минерализации). Этот же процесс, возможно, привел к замещению гидрослюд и серицита, слагавших полные псевдоморфозы по полевым шпатам, в результате чего получились уже каолинитовые псевдоморфозы. Кроме того, в ряде образцов присутствует две генерации мусковита: первая – плохой сохранности, с резорбированными лейстами, частично замещенными гидрослюдами; вторая – идиоморфные прекрасно ограненные чешуйки с коэффициентом удлинения  $>10$  («игольчатые»). Возможно, «вторая генерация» представлена не мусковитом, а другим слоистым минералом – пирофиллитом (!). Он характеризуется теми же кристаллооптическими характеристиками, что и мусковит, отличаясь от него лишь несколько большим углом  $2V$  ( $53^\circ - 62^\circ$  против  $30^\circ - 47^\circ$ ).

Если это так, то в разрезе присутствуют кислотные аргиллизиты, для которых в диапазоне температур  $200^\circ - 320^\circ\text{C}$  характерны парагенезисы иллит + пирофиллит, диккит + пирофиллит. Подтверждением наших наблюдений являются результаты совместных работ ИГЕМ РАН, ИГАБМ СО РАН и СВФУ (Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014, С.59). Аналогичные парагенезисы (диккит-пирофиллит) наблюдались и на других золоторудных объектах Адыча-Тарынского разлома (Войтенко и др., 2014).

### 2.3.2 Домен Малтан

Породы участка «Юго-восточная часть Зоны 1 месторождения Малтан» подверглись интенсивному динамометаморфизму, что на уровне единичных зерен проявляется в присутствии в аллотигенном кварце «классических» структурных признаков деформационного воздействия: волнистое погасание, необласты, фрагментация с образованием субзерен, деформационные ламели, миграция границ кварцевых зерен с фиксацией на лейстах обломочного и новообразованного мусковита.

Зерна аллотигенного олигоклаза так же деформированы, в них присутствуют кинк-банды и деформационные двойники. На уровне пород в целом структурно-



тектоническая переработка привела к широкому распространению проникающего кливажа и появлению «теней давления».

Формирование кливажных зон сопровождалось интенсивной хлоритизацией пород и отложением рудного и углистого вещества. Судя по проведенным в 2014 году анализам, минерализованные трещины на участке редки. Минерализованные жилки сложены преимущественно карбонатами ( $\pm$  кварц). При этом ранние («синкливажные») жилки выполнены микрозернистым магнезиосидеритом (?) и гипидиоморфным (до идиоморфного!) кварцем, а поздние («посткливажные») прожилки и линзочки сложены мелкозернистым Са-Mg карбонатом (без кварца).

Таким образом, процесс метасоматической переработки пород участка имел преимущественно диффузионный, а не инфильтрационный характер и сопровождался замещением глинисто-гидролюдистого цемента карбонатами, причем для последних характерен тот же тренд развития, что и для выше описанных гидротермалитов: Са-Mg карбонат замещает более ранний Fe-Mg карбонат.

Это может определяться ростом давления вследствие наложенного динамометамофизма, что привело к обратному порядку кристаллизации с увеличением железистости карбоната. Еще одним типичным признаком роста интенсивности метасоматического воздействия является характерное преобразование хлорита.

Ранний, возможно – диагенетический, практически бесцветный **клинохлор** с нормальными кристаллооптическими характеристиками структурно преобразуется в свою псевдотригональную модификацию (**пеннин**).

При росте интенсивности метасоматической переработки **пеннин** замещается **мусковитом** с формированием характерных «чечевицепоподобных» гомоосевых псевдоморфоз, в которых пеннин слагает либо узкие реликтовые зоны внутри новообразованной слюды, либо замещается полностью. В некоторых наиболее интенсивно карбонатизированных образцах реликтовые пенниновые участки в свою очередь замещаются криптозернистым карбонатом.

Подобный тренд преобразований магнезиального хлорита характерен для пород всех рассмотренных участков и хорошо коррелируется с интенсивностью карбонатизации (березитизации) рудовмещающих пород.

Кроме данных хлоритов в образцах с интенсивным межзерновым кливажем широко распространен железистый хлорит (**шамозит**), отличный от вышеописанных по своим оптическим свойствам. В качестве микровключений обычны рудные фазы (!). Данный хлорит присутствует и в кливажированных разностях пород других участков.

### 2.3.3 Домен Долинный

Породы, так же, как и на прочих участках, подверглись динамометаморфизму, хоть и в относительно меньшей степени. Структурно-тектоническая переработка привела к появлению проникающего кливажа, слюдяных пакетов (слюдяных «рыбок», mica fish), «теней давления» и других кинематических индикаторов деформаций.

Формирование кливажных зон сопровождалось интенсивной хлоритизацией пород, отложением и переотложением рудного и углистого вещества. Эволюцию метасоматических преобразований можно наглядно увидеть, анализируя последовательность формирования нескольких микроштокверков.

В них на ранней стадии формирования отлагался ожелезненный карбонат с высоким рельефом (сидерит?), с которым ассоциируют рудные минералы. Гидротермалиты данной стадии рассекаются безрудными доломитовыми (?) прожилками, в которых в подчиненном количестве присутствует ксеноморфный кварц. Эти две ассоциации, по всей видимости, сформировались в процессе березитизации и отражают состав тех компонентов, которыми была пересыщена флюидная фаза (Ca, Mg, Fe, Si, CO<sub>2</sub>).

Наиболее поздние ветвящиеся разориентированные прожилки, сложенные чешуйками минерала группы каолинита (каолинит?, диккит?), сформировались из флюида, спровоцировавшего локально распространенный процесс аргиллизитизации. Данная эволюционная последовательность (березитизированные породы с Fe-Mg карбонатом → березиты с Ca-Mg карбонатом → аргиллизиты) характерна и для пород прочих исследованных доменов. В самих породах домена «Долинный» степень замещения цемента карбонатом варьирует в очень широких пределах (от первых процентов до 100%). К наиболее карбонатизированным участкам приурочены относительно крупные идиоморфные метакристаллы сульфидов и их сегрегации, есть и жилки кварц-пирит-кальцитового состава.

Судя по всему, формирование данных интенсивно карбонатизированных участков по времени тесно связано с моментом формирования кливажных зон. В ряде случаев они выступают как «агрегатные» концентраторы напряжения.

### **3. Вещественный состав руд, минеральные парагенезисы и последовательность рудообразования.**

#### **2.1 Минеральный состав прожилково-вкрапленного оруденения**

Ранний диагенетический пирит представлен редкими фрамбоидальными образованиями и отмечающимися часто конкреционными стяжениями различной формы (рис. 11 В-Г).

Подавляющая часть раннего пирита замещена гидротермальным метасоматическим пиритом. При этом внешний облик стяжения остается, а при микроисследованиях обнаруживается, что оно сложено уже метасоматическим пиритом. Размер стяжений колеблется от 50-100 мкм до нескольких см.

Фрамбоидальный пирит обычно имеет размер первые десятые доли мм, достигая иногда первых мм. По результатам рентгеноспектрального микроанализа в составе раннего пирита примесей нет (Приложение 2).

#### **Минералы кварц-полевошпатовой стадии.**

##### **Рутил.**

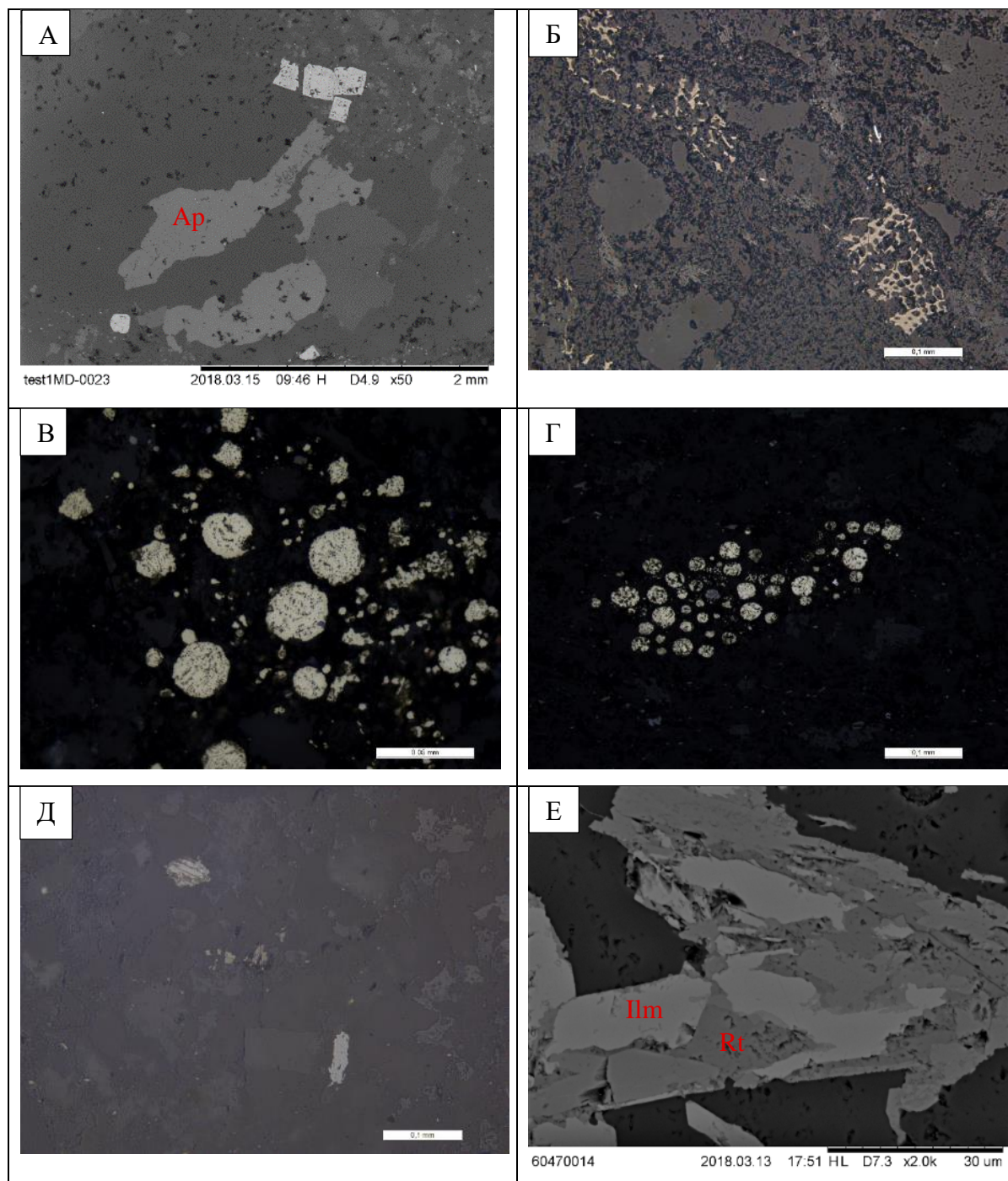
В описанных образцах отмечается как в прожилках, так и в виде вкрапленности во вмещающих породах. Представлен удлиненными кристаллами в прожилках и округлыми кристаллами во вмещающих породах, зачастую со структурами распада титаномагнетита и почти всегда лейкоксенизированными (рис.11 Д).

##### **Ильменит.**

Представлен кристаллами замещения. Развивается по удлиненным кристаллам рутила, находящемся в прожилках (рис. 11 Е).

Кристаллы рутила и замещающего его ильменита накладываются на хлорит\* и апатит (фторапатит) (рис. 11 А).

В работе предшественников было выделено наложение самородного золота на рутил (образец 457/49,8), однако, по данным микрозондовых исследований удалось установить ошибочность данного факта – выделенное ранее самородное золото при проверке оказалось пиритом (глава 2.3., рис. 16).



**Рис. 11. Ранняя дорудная минерализация вмещающих пород Малтанского рудного поля. А – фторапатит (обр. 441/91,7); Б – рассеянное органическое вещество (обр. 453/40,35); В – фрамбоидальный пирит (обр. 453/152,2); Г – конкреционное образование фрамбоидального пирита (обр. 441/129,5); Д – породный рутил (обр. 445/139,2); Е – ильменит развивающийся по игльчатому рутилу в кварцевом прожилке (обр. 457/49,8). Фотографии Родионовой А.В.**

Наибольшее внимание было уделено последним двум стадиям, так как во время них сформировалась рудная минерализация Малтанского рудного поля. По данным исследований на рудном поле установлено 16 минералов: пирит, арсенопирит, пирротин, марказит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда (тетраэдрит), галенит, пентландит, антимонит, самородное золото и комплекс никель-кобальтовых сульфоарсенидов и

сульфоантимонидов: ульманнит, герсдорфит и кобальтин. В изоморфных рядах ульманнит-герсдорфит и кобальтин-герсдорфит были установлены как крайние члены ряда, так и фазы промежуточного состава. Также в этот список могут быть включены такие минералы, как миллерит и зигенит, выделенные в работах предшественников

### **Минералы арсенопирит-пирит-кварцевой стадии.**

#### **Пирит.**

Составляет около 90% объема сульфидной минерализации, распространен повсеместно, образует вкрапленность, как во вмещающих породах, так и в прожилках.

Пирит образует идиоморфные метакристаллы размером до 2,8 см (рис. 12 А), часто замещает ранние фрамбоидальный и конкреционный пирит (рис. 12 В). Грани метакристаллов обрастает мелкий ксеноморфный пирит (рис. 12 Б), такая же морфологическая разновидность образует мелкую вкрапленность во вмещающих породах, и она же отмечается на месте ранних конкреций. Интересно замещение пиритом параллельно-шестоватых агрегатов кварц-серицитового состава, когда в идиоморфных кристаллах пирита, остаются реликты недозамещенного агрегата. Также интересны структуры роста и скелетные образования в пирите (рис. 12 Г). Описанные взаимоотношения различных морфологических разновидностей пирита арсенопирит-пирит-кварцевой стадии свидетельствуют о непостоянстве условий в ходе его выделения, однако достаточных оснований для отнесения пирита разных морфологических видов к разным стадиям нами не установлено.

По результатам рентгеноспектрального микроанализа в большинстве случаев в пирите примесей не установлено. В некоторых образцах отмечается примесь мышьяка (0,68 – 3,70 мас.%), никеля (0,91 – 2,45 мас.%). В одном образце установлена примесь кобальта (2,52 мас.%), а также в одном из образцов была обнаружена примесь сурьмы (0,73 мас.%). Примесь никеля и мышьяка в одной из фаз образца 441/91,7 обусловлена захватом герсдорфита при анализе. Также примесь мышьяка в двух фазах образца 441/91,7 обусловлена захватом окружающего пирит арсенопирита при анализе. (Приложение 2). Все остальные образцы, в которых установлены примеси, представляют пирит арсенопирит-пирит-кварцевой стадии.

Установлена закономерность в появлении в составе пирита примеси мышьяка – именно к данному типу пирита в аншлифе 441/91,7 приурочены проявления самородного золота. Также установлена закономерность в появлении в составе пирита примеси никеля для образца 445а/59,7 – вероятнее всего, примесь никеля в составе пирита обусловлена его ассоциацией с пентландитом.



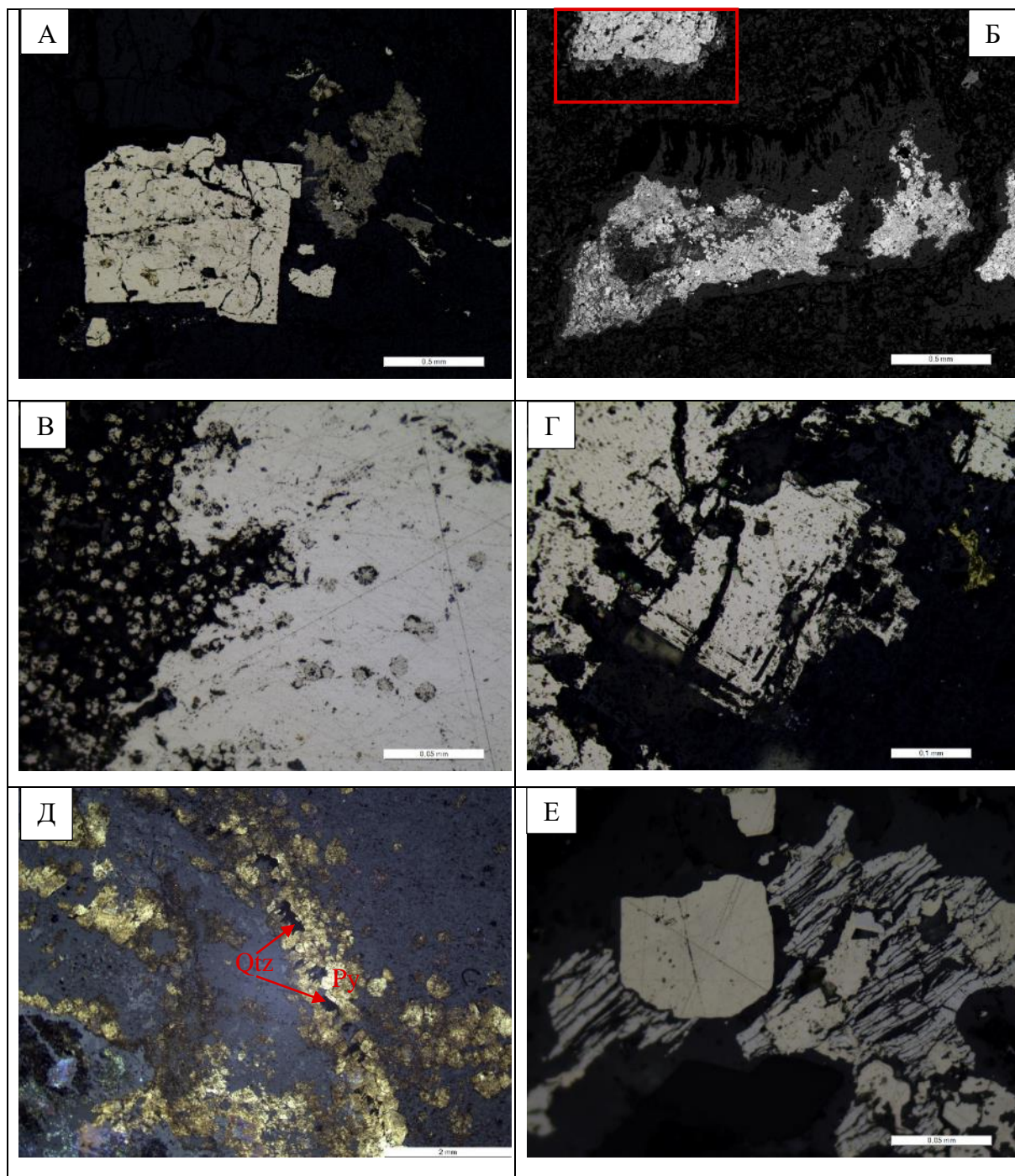


Рис. 12. Морфология выделений метасоматического пирита. Фотографии Родионовой А.В. А – идиоморфный метакристалл пирита (обр. 453/40,35); Б – на крани относительно крупного метакристалла пирита нарастает мелкокристаллический пирит (обр. 441/137,4); В – ранний фрамбоидальный пирит и замещающий его метасоматический пирит пирит-арсенопирит-кварцевой стадии (обр. 441/91,7); Г – метакристалл пирита аренопирит-пирит-кварцевой стадии с отчетливо видимыми зонами роста (441/82,5); Д – цепочка метакристаллов пирита по границам кристаллов кварца (обр. 445/119,6); Е – чистый кристалл пирита последней генерации с гидротермальным вытянутым пиритом, по которому развивается марказит (обр. 453/135,2).

Примесь сурьмы в одном из образцов может говорить о том, что в образце 441/91,7 присутствует пирит золото-сурьмяной стадии, однако по единичному анализу

невозможно делать такие выводы. Для остальных примесей закономерностей в их появлении не было установлено

### **Арсенопирит.**

На участке выделено две генерации арсенопирита. Ранний арсенопирит образовался в ходе пирит-арсенопирит-кварцевой стадии и распространен наиболее широко. Арсенопирит метасоматически накладывается как на вмещающие породы, так и на альбит-кварцевые, хлорит-кварцевые прожилки в виде отдельных метакристаллов и их сростков, часто в ассоциации с пиритом. Отмечаются как включения кристаллов арсенопирита в пирите, так и обратная ситуация (рис. 13 А). Рост метакристаллов арсенопирита, находящихся внутри кристаллов пирита, происходил в участках недозамещенного пиритом субстрата (рис. 13 Б). По результатам рентгеноспектрального микроанализа в составе арсенопирита первой генерации примесей не выявлено (Приложение 2). Отношение S/As в минерале больше единицы, т.е. арсенопирит сернистый, что свидетельствует о принадлежности руд участка к золото-кварцевой формации (Гамянин, Горячев, 2010).

### **Пирротин.**

Отмечается спорадически, в виде включений в арсенопирите-I (рис. 13 В), пирите в сростании с арсенопиритом-I (рис. 13 Г), а также в сростаниях с гидротермальным пиритом, халькопиритом и марказитом, где последний (в большинстве случаев) замещает все остальные рудные фазы (рис. 13 Д-Е).

### **Марказит.**

Формируется в конце пирит-арсенопиритовой стадии, развивается преимущественно по пириту этой же стадии, а также по пирротину и халькопириту (рис. 13 Д-Е).

### **Минералы продуктивной золото-полиметаллической стадии.**

Минералы данной стадии накладываются на предыдущие ассоциации, как в прожилках, так и во вкрапленных рудах.

### **Пирит.**

Пирит третьей генерации выделялся в ходе золото-полиметаллической стадии, он устанавливается спорадически в ассоциации с другими минералами стадии, взаимоотношения с которыми позволяют отделить этот пирит от предшествующего. Так в образце 441/91,7 установлено субграфические выделения галенита в кристалле пирита (рис. 14 А) свидетельствующие об их одновременном образовании.



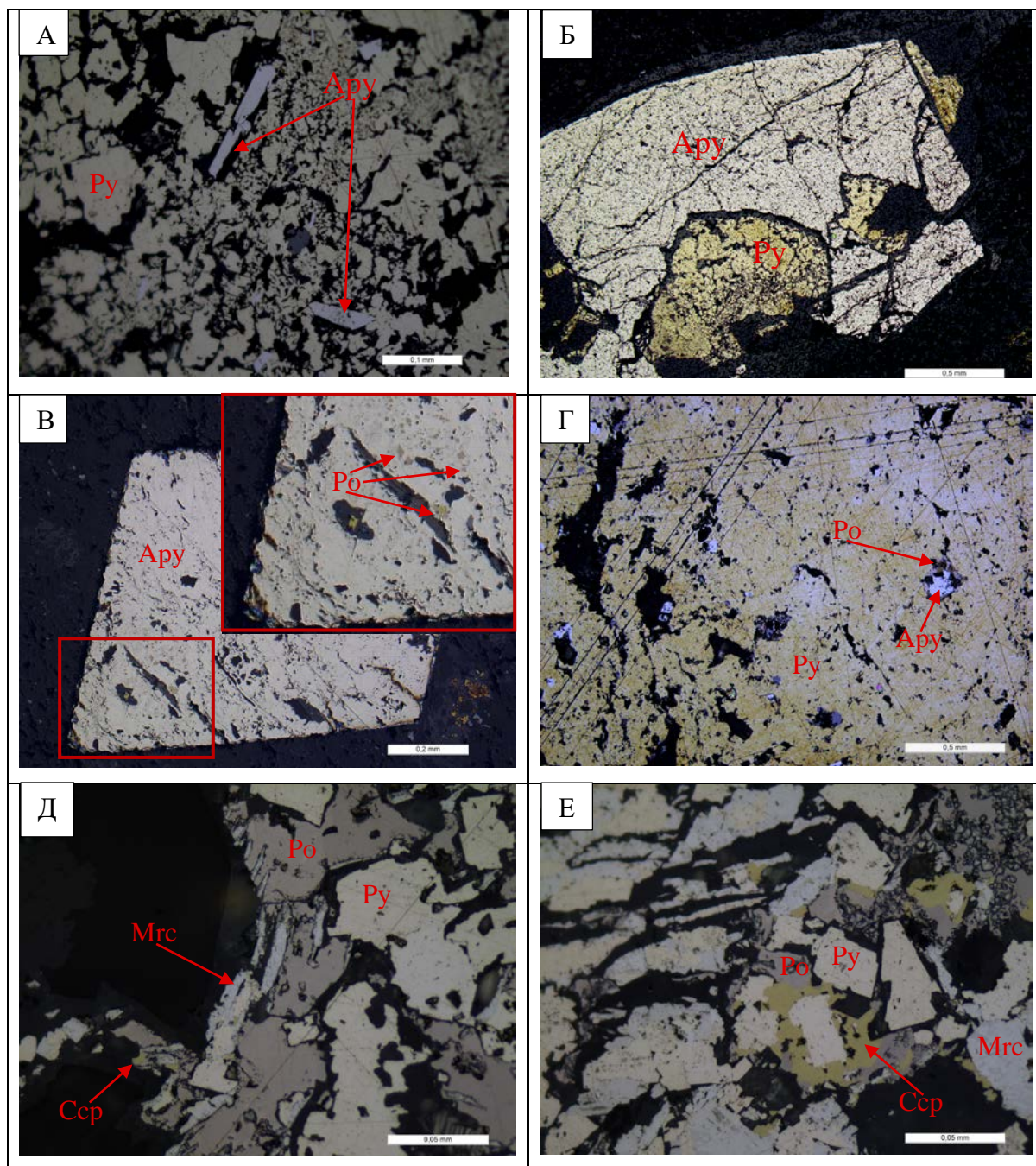


Рис. 13. Взаимоотношение минералов пирит-арсенопирит-кварцевой стадии. Фотографии Родионовой А.В.

А – вкрапленность мелких метакристаллов арсенопирита в пирите (обр. 441/137,4); Б – включения пирита в метакристалле арсенопирита (обр. 441/134,8); В – вкрапленность мелких кристаллов пирротина в метакристалле арсенопирита (обр. 467/91,25); Г – пирротин в сростании с арсенопиритом в метакристалле пирита (обр. 441/137,4); Д – марказит, замещающий пирит, пирротин и халькопирит (обр. 441/129,5); Е – марказит, замещающий пирит, пирротин и халькопирит (обр. 441/129,5).

### Пентландит.

Представлен относительно изометричными кристаллами в сростании с пиритом, содержащим в себе включения галенита (рис. 14 Б), что позволяет отнести его к золото-полиметаллической стадии.



### **Сульфоарсениды, сульфоантимониды кобальта и никеля.**

Представлены изоморфными рядами ульманнит ( $\text{NiSbS}$ ) – герсдорфит ( $\text{NiAsS}$ ) и кобальтин ( $\text{CoAsS}$ ) – герсдорфит ( $\text{NiAsS}$ ). Рудные фазы ряда ульманнит – герсдорфит проявлены шире в исследованных образцах, однако кроме единичного выделения представлены только герсдорфитом. Минералы комплекса постоянно находятся в сростаниях между собой, в различных сочетаниях, поэтому они и объединены в одну группу (Приложение 2).

Минералы комплекса установлены в редких образцах, отмечаются как во вмещающих породах, так и в прожилках.

Во вмещающих породах они установлены в образце 453/152,2, крайние и промежуточные члены обоих изоморфных рядов обрастают сфалерит с халькопиритом. (рис. 14 В). Размеры данного обрастания не превышают 60 мкм.

В прожилках минералы комплекса развиваются по краям зерен и в интерстициях между кристаллами карбоната ряда сидерит-доломит.

Минералы данной группы проявляют себя в различных видах и сочетаниях с другими минералами – самостоятельные выделения кобальтина (рис. 14 Д) и герсдорфита (рис 14. Е), в сочетании со сфалеритом, халькопиритом (рис. 14 В), по границе пирита в сростании с халькопиритом и сфалеритом (рис. 14 К), в ассоциации с гидротермальным пиритом, арсенопиритом и халькопиритом (рис. 14 Г), также образуют самостоятельные структуры кольцевого типа с включениями галенита и арсенопирита.

Ульманнит представлен в чистом виде без примесей, кобальтин во всех проявлениях содержит примесь никеля, т.е. герсдорфитового минала (от 8,04 до 12,47 мас.%), герсдорфит также находится в образцах с примесями либо кобальтинового минала (от 3,64 до 8,44 мас.%), либо ульманнитового ( от 1,55 до 7,86 мас.%)

В ряду кобальтин-герсдорфит представлены минералы практически из всего диапазона составов. В минералах постоянно отмечается существенная примесь железа до 12,44 мас%.

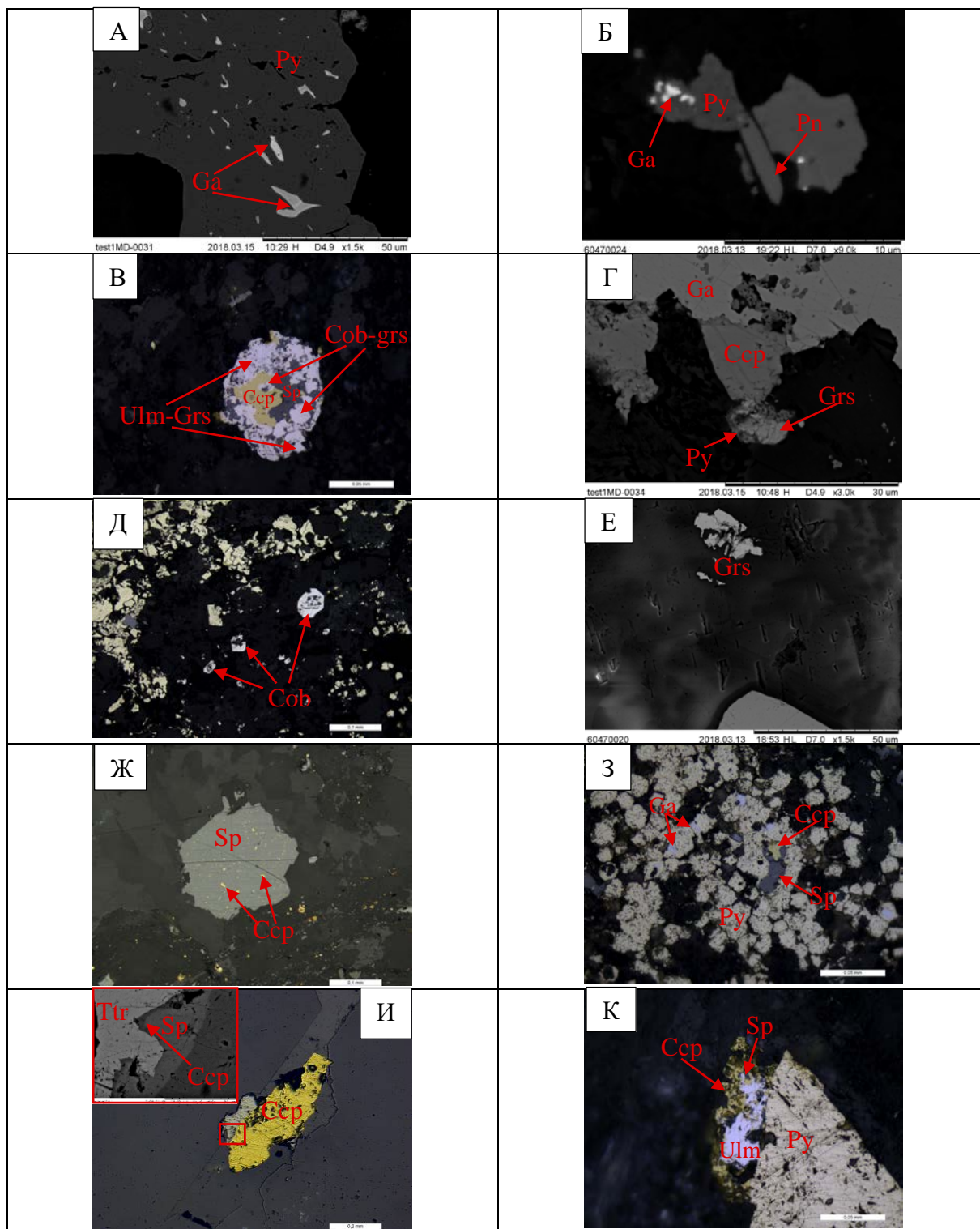


Рис. 4. Взаимоотношения минералов золото-полиметаллической стадии. Фотографии Родионовой А.В.

А – субграфическое срастание пирита и галенита (обр. 441/91,7); Б – срастание пентландита и пирита с вкрапленностью галенита (обр. 445а/59,7); В – обрастание халькопирита и сфалерита минералами ряда ульманит-герсдорфит и кобальтин-ульманит (обр. 453/152,2); Г – срастание герсдорфита с пиритом и халькопиритом (обр. 441/91,7); Д – кобальтин (обр. 453/152,2); Е – герсдорфит (обр. 445а/59,7); Ж – микровкрапленность халькопирита в сфалерите (обр. 441/91,7); З – замещение фрамбоидального пирита галенитом и сфалеритом замещенным халькопиритом (обр. 453/152,2); И – тетраэдрит в срастании с халькопиритом и сфалеритом (обр. 445а/59,7); К – ульманит замещающий халькопирит со сфалеритом на границе с пиритом (обр. 456/135,2).

### **Арсенопирит.**

Арсенопирит второй генерации отмечается редко, в виде отдельных тонких удлиненных кристаллов в ассоциации с никель-кобальт-сурьмяными минералами, а также в ассоциации с пиритом и халькопиритом, на которые наложены рудные фазы сульфоантимонидов и сульфоарсенидов.

В отличие от арсенопирита пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциации кристаллы описываемого арсенопирита имеют наложенный характер (на никель-кобальтовые минералы), но кроме того присутствуют кристаллы расположенные в самой породе. В арсенопирите устанавливается примесь кобальта (16,55 мас.%) и никеля (4,21 мас.%) (Приложение 2).

Точное положение арсенопирита-II в схеме последовательности минералообразования определить не удалось, однако, принимая во внимание наличие примеси в нем кобальта и никеля, можно полагать, что он выделялся одновременно с сульфоарсенидно-сульфоантимонидным комплексом в начале золото-полиметаллической стадии.

### **Халькопирит.**

Наиболее распространенный минерал ассоциации, отмечается повсеместно в виде прожилков и вкрапленности, наложенных на пирит, как пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциации, так и золото-полиметаллической.

Отмечается халькопирит в виде тонкой одновременной вкрапленности в сфалерите (рис. 14 Ж). Также наблюдается халькопирит, замещающий сфалерит, поверх которого развиваются сульфоарсениды и сульфоантимониды (рис 14. В). Кроме того, в некоторых образцах можно наблюдать, как сфалерит замещает фромбоидальный (сингенетический пирит), а затем замещается уже халькопиритом. Данные структуры, как правило, находятся в тесной ассоциации с развивающимся по тому же фромбоидальному пириту – галениом. (рис. 14 З).

В составе халькопирита примесей не выявлено, за исключением образца 445a/59,7, где установлена примесь сурьмы от 1,47 до 2,00 мас.%, что, скорее всего, связано с захватом при анализе соседнего тетраэдрита.

Также в халькопирите, который образует вкрапленность в сфалерите, присутствует примесь цинка до 10,47 мас.%.

### **Сфалерит.**

Наблюдается в пирите, в породе в виде ксеноморфных образований, разнообразных микролинз, а также в кварц-карбонатных прожилках. Срастается сфалерит с халькопиритом и изредка с тетраэдритом. Также замещает фромбоидальный пирит (рис. 14 З). Особенностью сфалерита является наличие микровключений халькопирита, образованных при совместном росте этих минералов. В составе сфалерита, по данным микрозондового анализа, постоянно присутствует железо 1,18 – 8,44 мас.% (Приложение 2).

### **Галенит.**

Отмечается довольно часто, чаще всего в виде мельчайшей (первые мкм) наложенной вкрапленности и микропрожилков в пирите арсенопирит-пирит-кварцевой ассоциации. Более крупные выделения наблюдаются в срастании с халькопиритом и сфалеритом. Выделения минерала, как правило, ксеноморфные. Наблюдаются в породе и в межзерновых пространствах кварц-карбонатных прожилков. Образуют кристаллы замещения по фромбоидальному пириту. Иногда галенит образует субграфические срастания с пиритом золото-полиметаллической ассоциации (рис. 14 А), что говорит об их одновременном образовании, также галенит зачастую ассоциирует с ртутьсодержащим самородным золотом (рис. 15 Е). Т.е. выделение галенита в ходе золото-полиметаллической стадии происходило длительное время.

В всех анализах галенита, полученных на микрозондовом анализе, отмечается примесь железа от 1,49 до 5,69 мас.% или цинка (в одном зерне), что связано с захватом соседнего сфалерита при анализе (Приложение 2).

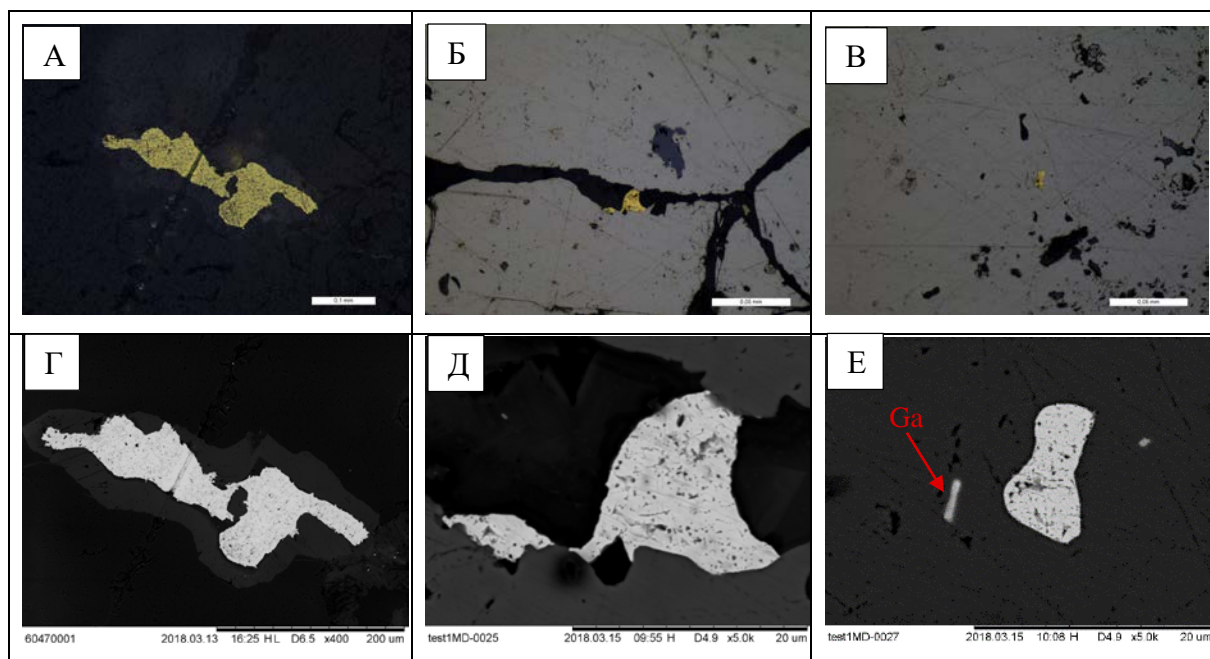
### **Блеклая руда.**

Наблюдается редко в виде ксеноморфных выделений. Срастается с халькопиритом и сфалеритом (рис. 14 И).

По результатам микрозондового анализа (Приложение 2) установлено, что все проанализированные зерна блеклых руд относятся к тетраэдритам, к чисто медным (без примеси серебра), а соотношение железа и цинка в блеклых рудах участка различно. Наличие мышьяка и теллуридов в ходе исследования не было обнаружено.

### **Самородное золото.**

Отмечалось в виде самостоятельных выделений размером до 0,35 мм в кварцевых прожилках. (рис. 15 А, Г). Самородное золото размером до 20 мкм отмечались в микротрещинах в мышьяксодержащем пирите (рис. 15 Б, Д). Также микровключение золота размером до 15 мкм было отмечено в самом



**Рис. 15. Самородное золото. Формы выделения. Взаимоотношения с другими минералами. Фотографии Родионовой А.В.**

**А, Г – самородное золото в кварц-карбонатном прожилке (обр. 457/49,8); Б, Д – самородное золото в микротрещине мышьяксодержащего пирита; В, Е – микровключение золота в мышьяксодержащем пирите (обр. 441/91,7);**

**А, Б, В – под оптическим микроскопом; Г, Д, Е – под электронным микроскопом.**

мышьяксодержащем пирите (рис. 15 В, Е). Ко всему прочему была отмечена зависимость приуроченности проявлений золота именно к пириту, содержащему примесь мышьяка (Приложение 2), а также тесная ассоциация таких микропроявлений золота с галенитом. В образце 457/49,8 предшественниками наблюдалось наложение самородного золота на кристаллы рутила (рис. 16), что при проверке оказалось ошибочным утверждением, так как проведенный микрозондовый анализ установил эти включения, как пирит без примесей в составе (Приложение 2).

Пробность золота изменяется в широком диапазоне 887 – 978 ‰ (Приложение 2), в среднем по 21 анализу составляя 927 ‰. Наиболее низкая пробность у самородного золота, находящегося в кварц-карбонатном прожилке в образце 457/49,8 – в среднем 914‰, что связано с неоднородностью пробности и состава внутри зерна золота. Наиболее же высокая пробность – в среднем 939‰ – отмечается у микровключений золота либо в мышьяксодержащем пирите, либо по трещинам в нем. Также стоит заметить, что золото с высокой пробностью отличается тем, что содержит примесь ртути (Приложение 2).

Выделенная последовательность является классической для объектов золото-кварцевой формации Верхне-Индигирского района.



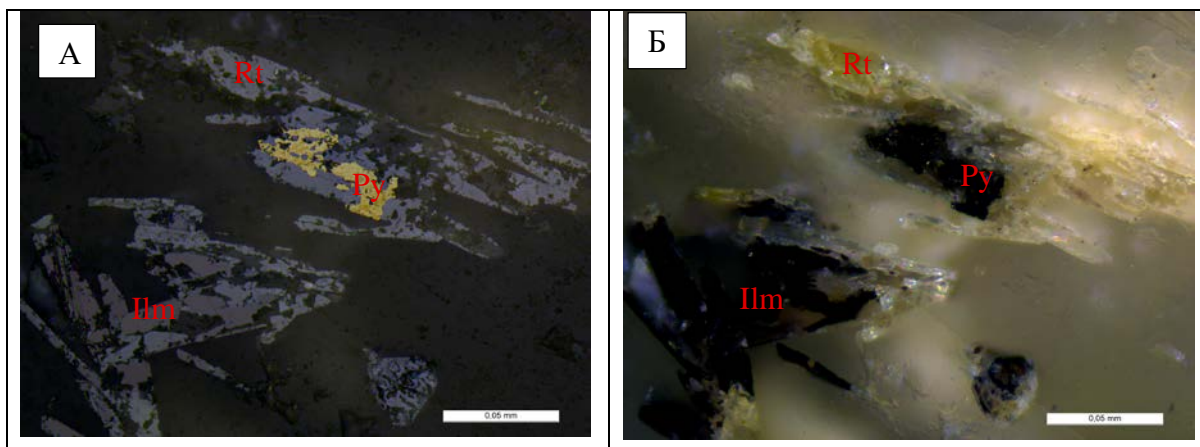


Рис. 16. Пирит, наложенный на игольчатые кристаллы рутила. Фотографии Родионовой А.В. А – без анализатора: Б – с анализатором.

Также в работах предшественников в рудах Малтанского рудного поля отмечаются признаки проявленности раннего золото-редкометального этапа (Войтенко, Тихонова, Козлов и пр., 2014). Однако в ходе проведения данной работы схожих признаков выявлено не было.

Отношение  $As/S$  в арсенопирите, являющееся типоморфным признаком рудноформационной принадлежности объектов Верхояно-Колымской провинции (Гамянин, Горячев, 2010), меньше 1, что свидетельствует о принадлежности участка «Долина Малого Тарына» к золото-кварцевой формации.

## 2.2 Минеральный состав жильно-прожилкового оруденения

Тесная пространственная связь золото-кварцевого и золото-сурьмяного оруденения является предметом изучения многих исследователей. При этом основное внимание уделяется изучению минерального состава руд, характеру околорудных метасоматических изменений и процессам переотложения золота. Установлено, что сурьмяное оруденение является более поздним в длительном процессе формирования золоторудных месторождений полиформационного типа.

На Малтанском рудном поле кварц-антимонитовые жилы рудных зон локализуются вдоль послойных срывов надвиговой кинематики. Кварц-антимонитовая минерализация телескопирует ранние межпластовые жилы золото-кварцевой формации. Для жил и прожилков кварц-антимонитового состава характерны низкая степень деформации без признаков перекристаллизации. (Задорожный, Тихонова, 2014)

Антимонитовый этап минералообразования, как и предшествующий золоторудный, начинается с метасоматической проработки вмещающих пород,

представленных уже золотоносными березитами. Особенностью метасоматитов золото-сурьмяных месторождений является присутствие среди березитов наложенного позднего, широко представленного карбонат-парагонит-пирофиллит-диккитового парагенезиса. При этом парагонит совместно с пирофиллитом развиваются по кислому плагиоклазу, но чаще отмечается развитие пирофиллита по серецитовому агрегату березитов.

В пирофиллит-парагонитовом агрегате по анкериту в ассоциации с ними отмечались редкие новообразования сидерита. Диккит наблюдается в виде мелких скоплений, выполняющих микропустотки выщелачивания. В рудах также нередко присутствуют прожилки (до 2 см) и микропросечки диккита, секущего все предшествующие минеральные образования. По составу он абсолютно аналогичен диккиту из метасоматитов. По всей вероятности, это самый поздний минерал сурьмяного этапа. Следует отметить, что диккит-пирофиллитовый парагенезис является типоморфным для малоглубинного эпитермального серебро-сурьмяного оруденения, а диккит-парагонит-пирофиллитовая ассоциация и новообразования сидерита являются характерными для всех золото-сурьмяных месторождений (Бортников, Гамянин, Викентьева, 2010; Горячев, 1992). Кроме того, в кварц-серицитовых метасоматитах наблюдаются не свойственные им новообразования антимонита, эпидота, вторичного окварцевания. Наиболее часто отмечается замещение шестоватых кварц-серицитовых оторочек на метакристаллах пирита или арсенопирита антимонитом, также имеющим шестоватое строение. Иногда метакристаллы пирита и арсенопирита в березитах замещаются смесью антимонита и пирофиллита. Нередко на месте выщелоченных метакристаллов пирита и арсенопирита отлагаются вторичный кварц, диккит, хлорит и эпидот, но при этом сохраняется свойственная метакристаллам шестоватая кварцевая или кварц-карбонатная оторочка.

Появление их связано с процессами выщелачивания и замещения вещества ранних метасоматитов при наложении антимонитовой минерализации на малосульфидную золотокварцевую.

Непосредственно в рудных зонах рудоотложение начинается с интенсивной сурьмяной минерализации, которая представлена бертьеритом и антимонитом.

### **Бертьерит.**

На месторождении Малтан, в отличие от месторождения Сарылах, встречается спорадически, преимущественно в маломощных прожилках, где слагает их призальбандовые части. Основная часть прожилков в таких случаях сложена

среднезернистым антимонитом. Состав бертьерита достаточно устойчив: Fe – 13,53; Sb – 55,05; S – 30,46 и близок к стехиометрии минерала.

#### **Антимонит.**

Является главным минералом сурьмяного этапа минералообразования. Его положение в рудных зонах разнообразно. Он образует линзовидные разномасштабные мономинеральные обособления в кварцевой матрице, многочисленные прожилки и просечки в молочно-белом кварце и цементирует его разновеликие обломки, формируя зоны брекчий.

Существенно изменчива и зернистость его агрегатов - от весьма крупных лентовидных обособлений (2-3 на 10-15 см) до весьма микрозернистых. В зонах, прилегающих к тектоническим нарушениям, нередко его мелкозернистые струйчатые агрегаты. Состав антимонита постоянный и беспримесный на уровне чувствительности микрозондового анализа (крупнозернистый антимонит: Sb – 71,28; S – 28,61; среднезернистый антимонит: Sb – 71,05, S – 28,74; струйчатый антимонит: Sb – 71,45, S – 28,43).

При наложении антимонитовой минерализации на катаклазированный молочно-белый кварц последний осветляется и очищается от примесей вдоль тончайших флюидопроводников.

Прожилки прозрачного регенерированного кварца рассекают ранний молочно-белый как в виде мельчайших паутинообразных просечек, так и более крупных прожилков. Нередко в таких прожилках присутствуют тонкоигольчатый антимонит и дикцит. В его кристаллах встречаются своеобразные овальные выделения антимонита, никель- и сурьмусодержащие пирит и арсенопирит, ауростибит, регенерированное золото и его колломорфные горчичного оттенка окисные и гидроокисные соединения (Гамянин, Жданов, Некрасов, 1987; Гамянин, 2001; Горячев, Гамянин, Прокофьев, 2011), подобно тем, что встречены на месторождении Сарылах (Бортников, Гамянин, Викентьева, 2010).

Регенерированный кварц по своим типоморфным признакам и их параметрам сопоставим с таковым кварца малоглубинных серебросурьмяных или монометалльных сурьмяных месторождений данной металлогенической зоны (Гамянин, 2001; Горячев, Гамянин, Прокофьев, 2011). Эти данные свидетельствует о существенно разных условиях кристаллизации описываемых разновидностей кварца.

Преобразование ранних сульфидов, сульфосолей и золота рудных тел в целом сходно с преобразованиями кварца: интенсивная коррозия, выщелачивание и

переотложение, что приводит к формированию микроассоциации регенерированных минералов.

В антимонит-бертьеритовых рудах появляются скелетные новообразования арсенопирита, широко развитые на месторождении Сарылах (Бортников, Гамянин, Викентьева, 2010). Они содержат значимую примесь сурьмы (до 1,46 %) и никеля (до 1,3 %), наиболее высокие концентрации которых приурочены к краевым частям кристаллов. Новообразования пирита также обогащены сурьмой, что характерно для золото-сурьмяных месторождений, в которых обнаружен стибипирит (Груздев, Прушинская Спиридонов, 1982).

Среди динамометаморфизованного антимонита нередко встречаются мелкие (до 0,1 мм) округлые монокристаллы маложелезистого (до 0,6 % Fe) сфалерита.

Джемсонит замещается антимонитом в парагенезисе с сидеритом, новообразования которого представлены либо пластинчатыми, либо ромбовидно-четковидными агрегатами.

Относительно крупные (0,1 – 0,3 мм) выделения существенно цинкистой блеклой руды окаймляются тончайшей смесью мирмекитоподобного агрегата новообразованной блеклой руды с халькопиритом и сфалеритом в мелкозернистом антимоните.

Более яркие картины преобразования наблюдаются при наложении сурьмяной минерализации на раннее золото. Своеобразие золота из золото-сурьмяных месторождений Сарылах и Сентачан уже описывалось (Гамянин, Жданов, Некрасов, 1987; Гамянин, 2001; Индолев, Жданов, Суплецов, 1980). Поэтому следует лишь подчеркнуть, что, помимо микрокристаллов регенерированного высокопробного (990 – 1000 ‰) золота, значительное количество массивных золотинок окружено реакционными каймами ауристита и “горчичного” золота различных оттенков, которое представлено как сурьмянистым золотом (Sb до 8 %), так и разнообразными по составу оксидами и гидроксидами Au и Sb (вставить рисунок из статьи).

Нередко наблюдается зонально-концентрическое строение каемок с трещинами усыхания, характерными для коллоидного минералообразования.

В существенно антимонитовых рудах ауристит неустойчив и распадается с образованием субграфического агрегата золото+антимонит (Гамянин, Жданов, Некрасов, 1984). При окислении антимонита такие агрегаты приобретают губчатую структуру, которая вошла в минералогический обиход как «губчатое» золото (рис. 17).

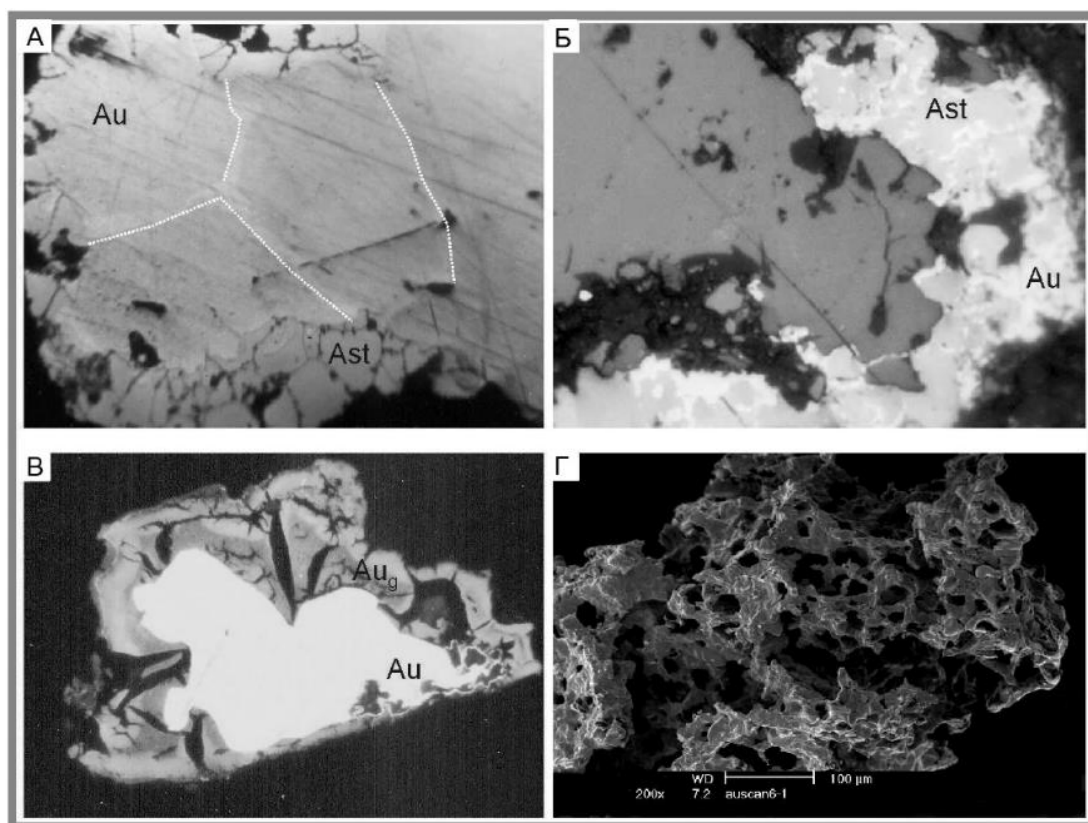


Рис. 17. Микроструктуры сурьмяной минерализации, наложенные на раннее золото. (по материалам Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014).

А - кайма ауристивитв (Ast) и прожилковидные выделения низкопробного золота в крупной золотине (Au). Ув. 300; Б - субграфическая структура распада ауристивита (Ast) на самородное золото (Au) и антимонит. Ув. 200; В – трещины «усыхания» в разноокрашенном «горчичном» золото (Aug). Ув. 400; Г – мелкогубчатое золото.

Приведенные данные свидетельствуют о весьма интенсивном воздействии сурьмяносного флюида на минеральный комплекс раннего золотого оруденения, что привело к объемной перегруппировке вещества с образованием минеральных парагенезисов и минеральных ассоциаций, не свойственных месторождениям «чистой» формационной линии. (по Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014).

По проведенному изучению протолочек, из зон послейных срывов в домене Малтан и Центральный, с помощью микрозондового анализа также были установлены не диагностированные в ходе работ 2014 года антимонит и барит, относящиеся к золото-сурьмяной стадии. Также в ассоциации с антимонитом и баритом были обнаружены халькопирит и галенит, вероятно, относящиеся к той же золото-сурьмяной стадии рудообразования (Приложение 3).

Стоит отметить, что состав протолочек из двух доменов значительно отличался, в частности, антимонит был диагностирован только в точке наблюдения М7-1, расположенной в домене Малтан. Кроме того, здесь впервые отмечается проявление галенита на зерне рутила, а также присутствие минерала редкоземельных элементов –



монацита. Ассоциация в данном домене также была шире, чем в точке М27-1, расположенной в домене Центральный (Приложение 3).

Сурьмяное оруденение формировалось в тех же, что и золотое, но повторно активизированных структурах, в сдвиговом поле тектонических напряжений. (Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014).

### **2.3 Минеральные парагенезисы и последовательность рудообразования**

Определение последовательности гидротермального минералообразования производилось на основании пересечений, телескопирования, замещения различных минеральных ассоциаций и отдельных минералов. Определение последовательности осложнялось преимущественно вкрапленным характером руд, а также повсеместным распространением раннего диагенетического фрамбоидального и конкреционного пирита во вмещающих породах.

По результатам изучения материала скважин подтверждено выделение шести стадий гидротермального минералообразования (рис. 18).

- I. анкерит-кварцевая,**
- II. кварц-полевошпатовая,**
- III. арсенопирит-пирит-кварцевая,**
- IV. золото-полиметаллическая,**
- V. золото-сурьмяная,**
- VI. гипергенная.**

Обращает на себя внимание тот факт, что ни в одном из описанных образцов, отобранных из керна скважин, не обнаружено типоморфных минералов завершающего рудообразование золото-сурьмяного этапа (антимонит, бертьерит), широко проявленных на участках «Центральный» и «Малтан», в работе предшественников также не было выделено этих рудных фаз. Однако, при изучении протолок, отобранных из зон послонных срывов, были диагностированы единичные зерна антимонита, что позволяет в данной работе выделить еще один этап в последовательности рудоформирования – золото-сурьмяный, а также установить гипергенный этап минералообразования.

Стадии Минерал	Анкерит- кварцевая	Альбит- кварцевая	Пирит- арсенопирит- кварцевая	Золото- полиметаллическая	Золото- сурьмяная	Гипергенная
Кварц						
Альбит						
Хлорит						
Карбонат						
Рутил						
Апатит (фторапатит)**						
Ильменит						
Серицит						
Марказит						
Пирротин						
Пирит						
Арсенопирит						
Сфалерит						
Халькопирит						
Галенит						
Блеклая руда (тетраэдрит)						
Пентландит**						
Кобальтин						
Ульманнит						
Герсдорфит						
Миллерит*						
Зигенит*						
Золото						
Антимонит**						
Барит**						
Монацит**						
Ксенотим**						
Хромит**						
Группа каолинит- дикит						
Гидроокислы железа (гетит?)						

Рис. 18. Схема последовательности гидротермального минералообразования участков «Долина Малого Тарына», «Юго-восточная часть Зоны 1 месторождения Малтан» и «Зона Центральная» (по результатам авторского изучения керн скважин, Войтенко, Тихонова, Козлов и пр., 2014, Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2014).

Минералы **анкерит-кварцевой** стадии слагают многочисленные прожилки и маломощные жилы кварцевого, анкеритового и анкерит-кварцевого состава, распространенные по всей площади рудного поля, выполняют межпластовые прожилки «книжной» текстуры (рис. 19).

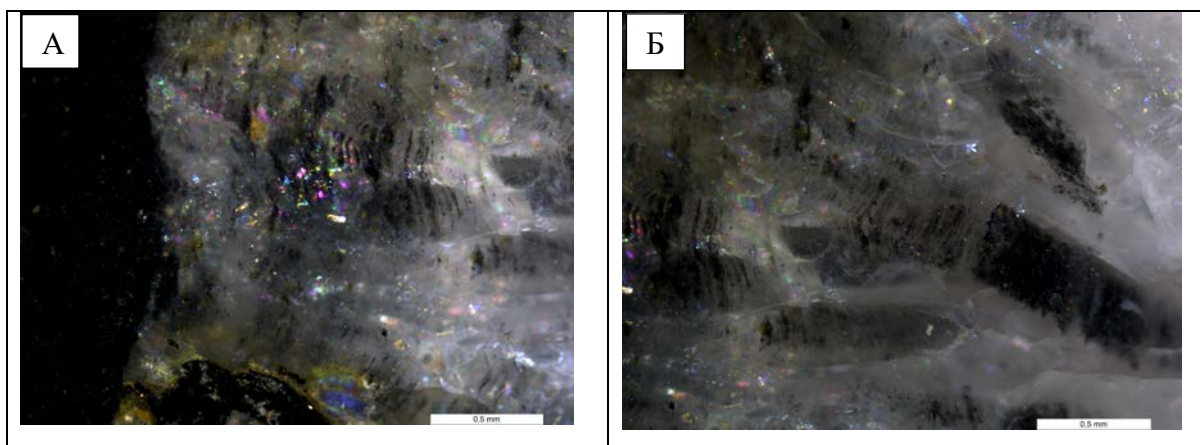


Рис. 19. Книжные текстуры кварцевого/анкерит-кварцевого прожилка. (Фотографии Родионовой А.В.) А, Б – фото под оптическим микроскопом с анализатором.

В **кварц-полевошпатовую** стадию формируются многочисленные кварц-альбитовые прожилки с редкой вкрапленностью рутила, ильменита, апатита (фторапатита) и небольшим количеством хлорита (глава 2.1., рис. 11, рис. 16, приложения 1-2).

В **арсенопирит-пирит-кварцевую** стадию происходило образование основного объема сульфидной минерализации: арсенопирита, гидротермального пирита и замещающего его марказита. Пирит и арсенопирит образуют метакристаллы, наложенные как на вмещающие породы, так и на прожилковые образования. Пирит распространен относительно равномерно, арсенопирит преимущественно приурочен к околпрожилковому пространству (глава 2.1., рис. 12-13, приложения 1-2).

Минералы продуктивной **золото-полиметаллической стадии** накладываются на предыдущие ассоциации, как в прожилках, так и во вкрапленных рудах (глава 2.1., рис. 14-15, рис. 16, приложения 1-2).

**Золото-сурьмяная** стадия выделяется на основании изучения отдельных зерен из протолочек, отобранных из зон послойных срывов, поэтому полноценных выводов о взаимоотношениях минералов между собой, а как следствие и последовательности минералообразования сделать не представляется возможным. Но выделить ассоциацию можно. Типоморфный минерал данного этапа (антимонит) ассоциирует с такими минералами как: халькопирит, галенит, рутил, пирит, ильменит, возможно, пирротин (глава 2.2., рис. 17, приложение 3)

## Заключение

По результатам проведенного исследования удалось установить следующие закономерности:

- Домен Аппа выделяется своей периферической структурно-тектонической позицией – северо-восточный моноклиальный домен, представляющий из себя круто погружающуюся (под  $44^\circ$ ) моноклиаль, с разрывными нарушениями преимущественно восток-северо-восточного простирания, тогда как для разрывных нарушений остальных доменов характерно северо-западное простирание.
- Домены Малтан и Долинный представляют собой широкую зону смятия с коническими складками, шарниры которых погружаются в домене Малтан на восток под крутым углом от  $34^\circ$  до  $59^\circ$ , а в домене Долинный шарниры меняют угол погружения до  $64^\circ$ , а направление на северо-восточное. Разрывные нарушения, в отличие от домена Аппа, приобретают здесь преобладающее северо-западное направление.
- Домен Центральный также представлен коническими складками с круто погружающимися (до  $60^\circ$ ) на восток (как и в домене Малтан) шарнирами.
- Литологически участки сложены пачками переслаивания алевролитов и пачками чередования песчаников, однако напрямую золотоносность с литологией не связана.
- Для золото-кварцевого прожилково-вкрапленного оруденения домена Долинный по анализу образцов из керна скважин были установлены те же стадии, что и для уже известных рудопроявлений. Установлено, что золото образовалось в последнюю четвертую стадию – золото-полиметаллическую и тесно связано с мышьяксодержащим пиритом и галенитом, кроме этого была установлена зависимость возрастания пробности золота при наличии в нем примеси ртути – до 978 пробы. И хотя по анализу аншлифов из керна скважин минералов завершающего золото-сурьмяного этапа обнаружено не было, однако благодаря результатам микрозондового анализа, для протолок отобранных из межслоевых жил, была установлена 5 стадия минералообразования – золото-сурьмяная, а также установлены новые минералы для данного типа ассоциации, такие как барит, галенит, халькопирит.

- Анализ геологического строения рудного поля позволяет предполагать вероятность нахождения нескольких месторождений золота объединенных единым геологическим структурным-признаком.

В масштабах всей Адыча-Тарынской зоны разломов – узкие зоны смятия, представленные коническими складками с круто погружающимися шарнирами на восток и северо-восток, шириной около 5 км, косо ориентированные или поперечные к региональному простиранию структур.

Конкретно для Малтанского рудного поля:

- Для золото-кварцевого прожилково-вкрапленного оруденения – кулисообразно расположенные зоны флексур, обратные по падению к послойным срывам.
- Для золото-сурьмяного жильно-брекчиевого оруденения – послойные срывы (надвиги) смятые в конические складки с круто погружающимися шарнирами. Проявления на границе складчатых доменов в зонах усиленной тектонической переработки.

Ведущий геолого-промышленный типа золото-кварцевый малосульфидный, второстепенный золото-сурьмяный.

Полученная ассоциация минералов зон послойных срывов и керна скважин, сравнение с исследованиями предшественников, а также геометрический анализ структуры рудного поля позволяет сделать вывод о наложенности золото-сурьмяного оруденения на золото-полиметаллический в зонах усиленной тектонической проработки вдоль разрывных нарушений северо-западного направления сдвиговой кинематики.



## Список литературы

### Опубликованные материалы

1. Аристов В.В., Задорожный Д.Н., Имамендинов Б.Н., Орлова Г.Ю., Тихонова Н.В. Факторы локализации золото-кварцевых месторождений Тарынского рудно-россыпного узла. – М.: ЦНИГРИ, 2006. 200 с.
2. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпитеpmальных антимонитовых руд // Геология руд. месторождений. 2010. X 52, №5. С. 381-417.
3. Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014, 133 с.
4. Войтенко В.Н., Задорожный Д.Н., Тихонова Н.В., Рыжов О.Б., Остапенко Л.А. Отчет по теме «Комплексные лито-фациальные и структурные исследования с целью выявления факторов контроля золотого оруденения Базовского рудного поля». – СПб, 2014.- 69 с.
5. Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Жданов Ю.Я. и др. Условия нахождения и образования ауристита // Зап. ВМО. 1984. №4. С. 196-205.
6. Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я., Некрасов И.Я., Лескова Н.В. “Горчичное” золото из золото-сурьмяных руд Восточной Якутии // Новые данные о минералах. 1987. №34. С. 13-20.
7. Гамянин Г.Н. Минералогическо-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозойд. М.: ГЕОС, 2001. 221 с.
8. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Типоморфизм арсенопирита месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н.В. Петровской. М., ИГЕМ РАН, 2010.
9. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. 136 с.
10. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В., Лескова Н.В. Серебро-сурьмяная минерализация Яно-Колымского пояса (Северо-восток России) // Тихоокеан. геология. 2011. X 30, № 2. С. 12-26.

11. Груздев В.С., Прушинская Э.Я., Спиридонов Э.М. Сурьмянистый пирит // Докл. АН СССР 1982. X 264, № 2. С. 45-451.
12. Задорожный Д.Н., Тихонова Н.В. Структурно-тектонифизическая характеристика золото-кварцевого и золото-сурьмяного оруденения месторождения Малтан (Республика Саха) // Материалы VIII Международной Конференции «Новые идеи в науках о Земле». М.: ФГУП ГНЦ РФ ВНИИГеосистем, 2011. С. 93-96.
13. Имамендинов Б.Н., Аристов В.В., Гусев И.М., Задорожный Д.Н. Отчет по договору № «Определить формационную принадлежность золоторудной минерализации северо-западной части Тарынского рудного узла», ЦНИГРИ, Москва, 2011, 87 с.
14. Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я., Суплецов В.М. Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции. Новосибирск: Наука, 1980. 232 с.
15. Исаенко М.П., Боришанская С.С., Афанасьева Е.Л. Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете // Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: "Недра", 1986. 382 с., с ил.
16. Калашников В.В., Аверченко А.И., Федорова С.С. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Верхоянская. Листы Q-54-XXXV, XXXVI (Усть-Нера). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 205 с.
17. Крючков А.В., Крючкова Н.Н. Отчёт о результатах работ за 2007-2010гг по объекту «Поисково-оценочные работы на рудное золото в пределах центральной части Тарынского рудно-россыпного узла. (Республика Саха (Якутия))» (Государственный контракт № 09/07 от 25.04.2007г, филиал «Восточно-Якутский), Усть-Нера, 2010, 303 с.
18. Крючков А. В. и др. Отчёт о результатах работ за 2010-2011 гг по объекту «Поисково-ревизионные работы на рудное золото в пределах северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла (Республика Саха (Якутия))», Усть-Нера, 2011, в 6 кн.
19. Оксман В.С., Суздалова Н.И., Краев А.А. Деформационные структуры и динамические обстановки формирования пород Верхне-Индибирского района. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005.- 204 с.
20. Парфенов Л.М., Рожин С.С., Третьяков Ф.Ф. О природе Адыча-Тарынской зоны разломов (Восточное Верхоянье)./ Геотектоника, 1988, № 4.- С. 90-102.

21. Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. – Якутск: ГУП НИПК «Сахаполиграфиздат», 2005. – 173 с
22. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001.- 571 с.
23. Третьяков Ф.Ф. Новые данные по тектоническому строению районов некоторых рудных полей Восточной Якутии // Отечественная геология, №4 2009, 6 С.
24. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Золото-кварцевое месторождение Сана Тарынского рудного узла // Разведка и охрана Недр, 2013, №12, 3-8 с.
25. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Золото-кварцевая и сурьмяная минерализация месторождения Малтан (Северо-восток России) // Тихоокеанская геология, 2014, т.33, №4, с.50-62
26. Layer P.W. Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Bakharev A. Tectonic setting of plutonic belts of Yakytia, northeast Russia, based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and trace element geochemistry. Geol. Soc. of Amer., 2001, v. 29, № 2, p. 167-170.

#### **Фондовая литература**

1. Аристов В.В., Задорожный Д.Н., Имамендинов Б.Н., Орлова Г.Ю., Тихонова Н.В. Факторы локализации золото-кварцевых месторождений Тарынского рудно-россыпного узла. – М.: ЦНИГРИ, 2006. 200 с.
2. Войтенко В.Н., Задорожный Д.Н., Тихонова Н.В., Рыжов О.Б., Остапенко Л.А. Отчет по теме ««Комплексные лито-фациальные и структурные исследования с целью выявления факторов контроля золотого оруденения Базовского рудного поля»». – СПб, 2014.- 69 с.
3. Войтенко В.Н., Тихонова Н.В., Козлов Е.Н., Сергеев А.В., Алексеев И.А. и др. Отчет по теме «Изучить условия локализации золоторудной минерализации северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла». Отчет по договору № 99/2014 с ГУ ГПП РС(Я) «Якутскгеология» от 19 июня 2014 г.
4. Имамендинов Б.Н., Аристов В.В., Гусев И.М., Задорожный Д.Н. Отчет по договору № «Определить формационную принадлежность золоторудной минерализации северо-западной части Тарынского рудного узла», ЦНИГРИ, Москва, 2011, 87 с.

5. Крючков А.В., Крючкова Н.Н Отчёт о результатах работ за 2007-2010гг по объекту «Поисково-оценочные работы на рудное золото в пределах центральной части Тарынского рудно-россыпного узла. (Республика Саха (Якутия))» (Государственный контракт № 09/07 от 25.04.2007г, филиал «Восточно-Якутский), Усть-Нера, 2010, 303 с.
6. Крючков А. В. и др. Отчёт о результатах работ за 2010-2011 гг по объекту «Поисково-ревизионные работы на рудное золото в пределах северо-западной части Тарынского рудно-россыпного узла (Республика Саха (Якутия))», Усть-Нера, 2011, в 6 кн.

# Приложение 1. Минераграфическое описание аншлифов. Группа с прожилками.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/137,4	Арсенопирит-1	5	До 2800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные кристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельно и в ассоциации с пиритом-1. Содержит пойкиловключения пирита-2, пирротина и рутила-1. Также присутствует в виде пойкиловключений в пирите-1 вместе с пирротином.
	Арсенопирит-2	0,5	40-200 мкм	Идиоморфные игольчатые кристаллы	В ассоциации с пиритом-3, халькопиритом.
	Пирит-1	1-2	До 800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельно и в ассоциации с арсенопиритом-1. Обрастает пиритом-3. Содержит пойкиловключения рутила-1, арсенопирита-1, пирротина, ОРВ-2.
	Пирит-2	1-2	4-6 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный.
	Пирит-3	2	До 40 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Иногда содержит включения рутила-1 и ОРВ-2.
	Марказит	1	До 50 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3 и микропрожилки.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	Доли %	До 20 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Пирротин	Доли %	До 40 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Пойкиловключения в пирите-1 и арсенопирите-1. Обрастает пойкиловключения арсенопирита-1 в пирите-1.
	Рутил-1	0,7	До 160 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и арсенопирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,3	До 180 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в арсенопирите-1 и пирите-1 и 3.



№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
453/40,35	Пирит-1	1,5	До 1000 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные метакристаллы.	Самостоятельно и в ассоциации с пиритом-3. Карбонатные тени давления вокруг кристаллов.
	Пирит-3	3	До 200 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Иногда содержит редкие включения рутила-1 и ОРВ-2.
	Марказит	0,5	До 100 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	Доли %	До 10 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом.
	Рутил-1	Доли %	До 20 мкм	Ксеноморфные образования.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-1 (ОРВ-1)	0,1	До 250 мкм (в длину)	Сетчатые образования, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,5-1	До 50-70 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в пирите-3.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
457/49,8 <sup>1</sup>	Золото	Ед. выделение	340 мкм	Неправильной округлой формы.	В кварцевом-карбонатном прожилке, вокруг золотинки железистая кайма.
	Ильменит	0,2	До 60 мкм	Кристаллы замещения.	Замещают рутил-2.
	Пирит-1	0,4	До 200 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельно и в ассоциации халькопиритом.
	Пирит-3	0,6	До 110 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Иногда содержит редкие включения рутила-1 и ОРВ-2.
	Марказит	0,2	До 50 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	Доли %	До 25 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом.
	Рутил-1	0,3	До 20 мкм	Ксеноморфные образования.	Породный, терригенный. Замещается лейкоксеном.
	Рутил-2	0,4	До 200 мкм (в длину)	Игольчатые выделения.	В кварц-карбонатном прожилке. Замещается ильменитом и пиритом-1.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,5-1	До 110 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия. Есть образования похожие на реликты стеблей.	Породный. Также в виде пойкиловключений в пирите-3.

<sup>1</sup> Учитываются данные микронзондового исследования

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
467/91,25	Арсенопирит-1	1	1000 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные кристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельно и в ассоциации с пиритом-1. Содержит пойкиловключения халькопирита, пирротина, рутила-1, ОРВ-2.
	Сфалерит	0,3	До 190 мкм	Ксеноморфные образования.	В породе и кварц-карбонатном прожилке. Самостоятельные выделения, а также образует структуры распада с халькопиритом.
	Пирит-1	4	До 560 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные метакристаллы.	Самостоятельные выделения. Обрастает пиритом-3. Содержит пойкиловключения рутила-1, ОРВ-2.
	Пирит-3	1	До 400 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Иногда содержит включения рутила-1 и ОРВ-2.
	Марказит	0,5	До 240 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3 в кварцевом прожилке.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	0,5	10-40 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Образует структуры распада со сфалеритом.
	Рутил-1	Доли %	До 120 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и арсенопирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Пирротин	Доли %	10-20 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Пойкиловключения в арсенопирите-1.
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	1	10 мкм на 40 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в арсенопирите-1.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
457/54,5	Сфалерит	Доли %	До 60 мкм	Ксеноморфные образования.	В породе и кварц-карбонатном прожилке. Самостоятельные выделения.
	Пирит-1	2-3	До 800 мкм, преимущественно 100-120 мкм.	Идиоморфные и гипидиоморфные метакристаллы.	Самостоятельные выделения в породе и кварцевом прожилке. Содержит пойкиловключения рутила-1, ОРВ-2 и пирротина.
	Пирит-3	0,1	До 140 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	До 30 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3 в породе, мелкие скопления.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	0,5	40-60 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности.
	Рутил-1	0,5%	40-60 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Рутил-2	Доли %	До 200 мкм (в длину)	Игольчатые выделения.	В кварц-карбонатном прожилке.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Пирротин	Доли %	4-8 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Пойкиловключения в пирите-1.
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	1	40-120 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в арсенопирите-1.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
453/86,85	Арсенопирит-1	0,5	До 880 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные метакристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельные выделения. Содержит пойкиловключения халькопирита, пирротина и рутила-1.
	Арсенопирит-2	1-2	До 800 мкм	Идиоморфные веретеновидные кристаллы	Содержит пойкиловключения рутила-1, пирротина, халькопирита и пирита-1. Присутствуют довольно широкие тени давления вокруг кристаллов - кварцевые.
	Пирит-1	5,5	До 1400 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Почти не содержит включений, за исключением редких выделений рутила-1.
	Пирит-3	1,5	До 160 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	0,3	До 80 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит (местами).
	Халькопирит	0,2-0,5	До 150 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Рутил-1	0,1-0,2	До 60 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и арсенопирите-1. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Пирротин	Доли %	~ 20 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Пойкиловключения в арсенопирите-1.
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	1%	40-70 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в арсенопирите-1.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/82,5	Арсенопирит-1	6	До 2000 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные метакристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельные выделения. Содержит пойкиловключения халькопирита, и рутила-1 и ОРВ-2. Кристаллы арсенопирита местами раздроблены более поздним кварцевым прожилком.
	Сфалерит	Доли %	До 80 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения.
	Пирит-1	1,5	До 1200 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные. Скелетные структуры.	Самостоятельные выделения. Почти не содержит включений, за исключением редких выделений рутила-1 и ОРВ-2. Иногда ассоциирует с халькопиритом и, предположительно, ульманнитом.
	Пирит-3	0,5	До 60-70 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	До 40 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	0,5	До 120 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Рутил-1	0,1	До 80 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в арсенопирите-1. Замещается лейкоксенom.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,2	До 40-60 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. Также в виде пойкиловключений в арсенопирите-1.



№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
453/131,35 <sup>2</sup>	Арсенопирит (Глаукоdot)	Доли %	3-4 мкм	Ксеноморфные образования	Вкрапленники в герсдорфите.
	Сфалерит	Доли %	До 28 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения в породе.
	Пирротин	Доли %	20 мкм	Ксеноморфные образования.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом. Замещается марказитом.
	Галенит	Доли %	2 мкм	Ксеноморфные образования.	Вкрапленники в герсдорфите.
	Герсдорфит (ряд кобальтин-герсдорфит)	Доли %	60 мкм (вся форма с учетом всех промежуточных стадий ряда)	Образует кольцевую структуру, которая представляет из себя непрерывный ряд непостоянного состава минералов кобальтин-герсдорфит.	Включает в себя мелкие вкрапления галенита, кобальтсодержащего арсенопирита (глаукодота).
	Пирит-1	1	До 2400 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Почти не содержит включений, за исключением редких выделений рутила-1 и ОРВ-2. Иногда ассоциирует с халькопиритом.
	Пирит-3	0,3	До 600 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	0,1	150-200 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и марказит.
	Халькопирит	0,5	До 225 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, с пиритом-1 также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности и в виде самостоятельных выделений в кварцевом прожилке.
	Рутил-1	Доли %	40-50 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,1	~ 50 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

<sup>2</sup> Учитываются данные микронзондового исследования

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
454/99,8	Сфалерит	Доли %	~ 80 мкм	Ксеноморфные образования. В кристаллах присутствует зональность.	Самостоятельные выделения. Ассоциируют с рутилом-1.
	Пирит-1	2	До 2800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Почти не содержит включений, за исключением редких выделений рутила-1. Иногда ассоциирует с халькопиритом.
	Пирит-3	1	До 90-100 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	16-50 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	0,3	50-80 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Рутил-1	1	~ 80 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловклучений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном, и, предположительно, дикитом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,7	80-120 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
450/109,4	Пирит-1	1	До 2800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Почти не содержит включений, за исключением редких выделений рутила-1.
	Пирит-3	0,8	До 130 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	8-70 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	0,4	20-120 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Рутил-1	0,4	~ 60 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Замещается лейкоксом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,4	50-70 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
456/90,8	Арсенопирит-1	1 кристалл	До 1080 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные метакристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельные выделения. Содержит в себе единичное включение халькопирита. Также содержит в себе породные включения, хотя расположен в кварцевом прожилке – жила образовалась позже арсенопирита-1.
	Пирит-1	1	400-800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Обрастает мелкозернистыми массами пирита-3, который еще не замещен марказитом. Содержит пойкиловключения рутила-1.
	Пирит-3	1	До 280 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. В породе мелкозернистые массы, более крупные образования в прожилке с халькопиритом и марказитом.
	Марказит	Доли %	40-80 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит	Доли %	20-44 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	Ильменит	0,1	50-100 мкм	Кристаллы замещения.	Замещают рутил-2.
	Рутил-1	0,3	60-120 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксом.
	Рутил-2	0,4	240-280 мкм (в длину)	Игольчатые выделения.	В кварц-карбонатном прожилке.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,6	280-600 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
445a/79,4	Арсенопирит-1			Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные метакристаллы, характерная анизотропия.	Самостоятельные выделения.
	Пирит-1	7-8	До 2400 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Содержит пойкиловключения рутила-1 и ОРВ-2. Расположен преимущественно в породе, в кварце мало и он мелкий.
	Пирит-3	3	До 1200 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы. Скелетные структуры пирита.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Ассоциирует с марказитом, халькопиритом, рутилом-1 и арсенопиритом- 1.
	Марказит	1,2	До 200 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Халькопирит		30-200 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности. Замещает пирит-3.
	???				
	Сфалерит		Доли %	Ксеноморфный.	Включения в пирите-3.
	Рутил-1	0,5	30-120 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и 3. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,5	До 150 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
456/135,2 <sup>3</sup>	Арсенопирит-1	0,1	~ 36 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные мелкие треугольные выделения.
	Пирит-1	6	До 480 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Содержит включения рутила-1, ОРВ2, халькопирита и сфалерита (реже). Также ассоциирует с халькопиритом, сфалеритом и ульманнитом.
	Пирит-2	0,7	Первые мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный.
	Пирит-3	1	До 250 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Самостоятельные выделения. В породе.
	Сфалерит	Доли %	16-60 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, на границе с ульманнитом в халькопирите.	Ассоциирует с халькопиритом, пиритом-1 и ульманнитом.
	Халькопирит	0,6	До 118 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциирует с пиритом-3 и марказитом, либо со сфалеритом, ульманнитом и пиритом-1; также встречается в породе в виде ксеноморфной вкрапленности.
	Ульманнит (ряд ульманнит-герсдорфит)	Доли %	До 70 мкм	Ксеноморфный, минерал замещения.	Развивается по халькопириту и сфалериту на границе с пиритом-1 в кварцевой жилке.
	Рутил-1	0,5	До 100 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,2-0,3	50-90 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

<sup>3</sup> Учитываются данные микрозондового исследования



№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/91,7 <sup>4</sup>	Арсенопирит-2	1	1200-2000 мкм	Идиоморфный веретеновидный кристалл.	Содержит в себе пойкиловключения рутила-1, пирита-2 и ОРВ-2.
	Пирит-1	5	1400-1800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Содержит включения рутила-1, ОРВ-2, сфалерита с халькопиритом, пирротина, пирита-2 и золота.
	Пирит-2	1	До 12 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный.
	Пирит-3	0,2	До 140 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	До 40 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3.
	Золото	Доли %	До 15 x 18 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Развивается в пирите-1 и в трещинах крупных кристаллов пирита-1.
	Пирротин	Доли %	До 240 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	В пирите-1.
	Галенит*	Доли %	3-18 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	В пирите-1, либо по трещинам в пирите-1. Ассоциируется с золотом, сфалеритом.
	Сфалерит	0,2	10-220 мкм	Ксеноморфные выделения. Структуры распада.	Ассоциируется с галенитом и пиритом-1. Самостоятельные выделения в породе – структуры распада с халькопиритом.
	Халькопирит	0,1	20-140 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциируется с арсенопиритом, пиритом-3(?), герсдорфитом. Образует структуры распада в сфалерите.
	Герсдорфит* (ряд ульманнит-герсдорфит)	Доли %	5 мкм	Ксеноморфный, минерал замещения.	Развивается по границе халькопирита с пиритом-3(?).
	Рутил-1	0,4	До 120 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и арсенопирите-2. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Фторапатит*	0,5	До 1500 мкм	Ксеноморфный.	Породный, терригенный.
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,3	До 200 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

<sup>4</sup> Учитываются данные микрозондового исследования

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/129,5	Пирит-1	2	До 680 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Самостоятельные выделения. Содержит включения рутила-1 с реликтами разрушенной титаномагнетитовой фазы.
	Пирит-4	0,4	2-38 мкм	Фромбоидальный	Породный, терригенный. Слабая перекристаллизация. Местами замещается сфалеритом.
	Пирит-3	0,8	До 200 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Только в кварц-карбонатных жилах.
	Марказит	0,2	До 100 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3, пирротин и халькопирит. Халькопирит->пирротин->пирит-3->марказит
	Пирротин	0,2	130-170 мкм	Ксеноморфные и изометрические выделения.	Халькопирит->пирротин->пирит-3->марказит
	Сфалерит	0,1	4-8 мкм	Ксеноморфные выделения. Структуры распада.	Структуры распада с халькопиритом. Замещает фромбоиды пирита-4.
	Халькопирит	0,3	28-70 мкм	Ксеноморфный.	В виде самостоятельных округлых выделений. В ассоциации с пиритом-3, пирротином и марказитом. Халькопирит->пирротин->пирит-3->марказит. Образует структуры распада в сфалерите.
	Рутил-1	0,3	120-160 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,3	До 160 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
445/119,6	Пирит-1	10	230-300 мкм	Идиоморфные чистые кристаллы без включений и гипидиоморфные частично разрушенные.	Самостоятельные выделения. В кварце – идеально чистый пирит без включений, в породе с включениями пирита-2 и рутила-1, «разъеден».
	Пирит-2	8	До 10 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный. Слабая перекристаллизация.
	Пирит-3	5	До 2000 мкм (реликты конкреции)	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	3	40-400 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3, пирротин и халькопирит.
	Сфалерит	Доли %	250 мкм	Ксеноморфные выделения.	В карбонатном прожилке.
	Халькопирит	1	30-280 мкм	Ксеноморфный.	В виде самостоятельных округлых выделений в кварцевом прожилке рядом с пиритом-1. Внутри конкреционного образования с пиритом-3 и марказитом. По краю конкреционного образования.
	Рутил-1	0,8	До 80 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,8	160 мкм 1200 мкм (по удлинению)*	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный. *похоже на реликт стебля.

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/134,8	Арсенопирит-1	3	До 2200 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные кристаллы, характерная анизотропия.	Самый крупный кристалл арсенопирита обрастает 2 кристалла пирита-3. Также присутствуют включения пирита-1 и 2, рутила-1.
	Пирит-1	1	До 400 мкм	Идиоморфные чистые кристаллы без включений и гипидиоморфные частично разрушенные.	Самостоятельные выделения. Обрастает пирит-2, содержит включения рутила-1.
	Пирит-2	1,5	5-15 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный.
	Пирит-3	2	До 480 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом. Не только в кварцевом прожилке, но и в породе.
	Марказит	0,8	До 160 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит.
	Гематит	Доли %	~ 400 мкм	Кристаллы замещения.	В карбонатном прожилке.
	Халькопирит	Доли %	30 мкм	Ксеноморфный.	Ассоциируется с марказитом и пиритом-3.
	Рутил-1	0,5	30 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1 и арсенопирите-1. Замещается лейкоксом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,5	80 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

### Группа брекчий и кварца.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
445а/132,9	Арсенопирит-1	0,4	140-280 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные кристаллы, характерная анизотропия.	Наиболее крупные кристаллы приурочены к поруде. Содержит пойкиловключения рутила-1.
	Рутил-1	Доли %	~ 12 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В поруде и в виде пойкиловключений в арсенопирите-1. Замещается лейкоксом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			

№ аншлафа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/121,4	Арсенопирит-1	0,5	До 600 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные. Характерная анизотропия.	Приурочены к кварцевым кварц-карбонатным прожилкам.
	Пирит-1	Доли % <sup>5</sup>	До 280 мкм	Идиоморфный.	Единственный кристалл в кварце на границе прожилка с породой.
	Пирит-3	Доли %	До 100 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	~ 10 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит.
	Халькопирит	Доли %	~ 10 мкм	Ксеноморфные выделения.	Ассоциирует с марказитом и пиритом-3.
	Рутил-1	Доли %	До 50 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в арсенопирите-1. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	Доли %	80-150 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

6

<sup>5</sup> Рутила-1 и органического вещества-2 больше, чем пирита-3 с марказитом и халькопиритом.

<sup>6</sup> Вся минерализация за исключением пирита-1 и арсенопирита-1 расположена в породе по слоистости.



№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/121,4 <sup>7</sup>	Пирит-1	1,1	До 800 мкм	Идиоморфный.	Либо идеально чистый, либо содержит включения халькопирита и пирротина.
	Пирит-2	Доли %	5-10 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Образует мелкокристаллические массы и обрастает пирит-1.
	Пирит-3	0,9	До 300 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	0,2	До 170 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит.
	Халькопирит	0,2	До 560 мкм	Ксеноморфные выделения.	Ассоциирует с марказитом и пиритом-3. Ассоциирует с тетраэдритом и сфалеритом в кварц-карбонатной жиле. Также в виде самостоятельных выделений в породе.
	Сфалерит	Доли %	До 170 мкм	Ксеноморфные выделения.	Ассоциирует с халькопиритом и тетраэдритом. Внутри халькопирита. Также включение в пирите-1.
	Пирротин	Доли %	До 120 мкм	Ксеноморфные выделения.	В виде включений в пирите-1.
	Тетраэдрит	Доли %	До 200 мкм	Ксеноморфные выделения.	Ассоциирует с халькопиритом и сфалеритом.
	Герсдорфит (ряд ульманнит-герсдорфит)	Доли %	25 мкм	Идиоморфный кристалл.	Самостоятельное выделение в кварц-карбонатной жиле.
	Галенит	Доли %	До 1 мкм	Ксеноморфный.	В виде включений в пирите-1 и пентландите.
	Пентландит	Доли %	8 мкм	Гипидиоморфный кристалл.	Ассоциируется с галенитом и пиритом-1.
	Рутил-1	Доли %	До 40 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Ксенотим	Доли %	5-20 мкм	Ксеноморфные образования, округлые.	Самостоятельное выделение в породе рядом с кварц-карбонатной жилой.
	Монацит	Доли %	30 мкм	Гипидиоморфный кристалл.	Самостоятельное выделение в породе рядом с кварц-карбонатной жилой.
	Апатит	Доли %	40 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельное выделение в породе рядом с кварц-карбонатной жилой.

<sup>7</sup> Учитываются данные микрозондового исследования.

## Брекчии.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
457/29,2	Пирит-1	1	До 1000 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Полуразрушенный кристалл с включениями рутила-1.
	Пирит-3	0,5	~ 48 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	Доли %	До 12 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит.
	Сфалерит	Доли %	До 40 мкм	Ксеноморфные выделения, отчетливые бурые рефлексы.	Самостоятельные выделения.
	Минерал ряда кобальтин- герсдорфит.	Доли %	150 мкм	Образует кольцевую структуру, которая представляет из себя непрерывный ряд непостоянного состава минералов кобальтин- герсдорфит.	Ассоциируется с халькопиритом.
	Рутил-1	0,1	До 70 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,2	До 280 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

<b>№ аншлифа, глубина отбора (м)</b>	<b>Рудные минералы</b>	<b>Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)</b>	<b>Размер рудных минералов</b>	<b>Кристалломорфные особенности рудных минералов</b>	<b>Последовательность минералообразования</b>
453/129,35	Пирит-1	1	200-1800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Почти идеально чистые кристаллы, иногда присутствуют включения рутила-1. Самостоятельно и в ассоциации с пиритом-3, марказитом и халькопиритом.
	Пирит-3	0,7	60-800 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Бластопирит, почти всегда замещается марказитом.
	Марказит	0,2	20-200 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит.
	Халькопирит	0,1	16-50 мкм	Ксеноморфные образования.	Ассоциирует с марказитом и пиритом-3. Замещается марказитом. Самостоятельные выделения в породе.
	Рутил-1	0,3	До 200 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,4	До 200 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
454/159,2 <sup>8</sup>	Пирит-1	1	До 800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Почти идеально чистые кристаллы без включений.
	Пирит-2	0,3	~ 4 мкм	Мелкая ксеноморфная вкрапленность в породе, имеет округлые и изометричные очертания.	Породный, терригенный.
	Халькопирит	Доли %	20 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения в породе.
	Сфалерит	Доли %	20 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения в прожилке между брекчированными кусочками породы.
	Рутил-1	0,5	До 280 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,2	До 250 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный.

<sup>8</sup> Пржилки между брекчированными кусочками породы – минералы группы каолинит-дикит - ?

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
453/125,85	Пирит-1	1	До 160 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Почти идеально чистые кристаллы, иногда присутствуют включения рутила-1.
	Пирит-3	0,4	50-200 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Мелкая вкрапленность в ассоциации с марказитом и пиритом-3, почти всегда замещен марказитом.
	Марказит	0,1	До 30 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит в породе.
	Халькопирит	0,1	20-100 мкм	Ксеноморфные образования.	Ассоциирует с марказитом и пиритом-3. Замещается марказитом. Самостоятельные выделения в породе. Эмульсионная вкрапленность в сфалерите – структуры распада.
	Пирротин	Доли %	~ 20 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения.
	Сфалерит	Доли %	~ 60 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения, а также образует структуры распада с халькопиритом. В породе.
	Рутил-1	0,2	До 100 мкм	Ксеноморфные образования и ксеноморфные обломки с характерным «паркетным» строением.	Породный, терригенный. В породе и в виде пойкиловключений в пирите-1. Реликты разрушенной титаномагнетитовой фазы. Замещается лейкоксом.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			
	Органическое вещество-2 (ОРВ-2)	0,2	До 680 мкм	Микролейсты, ориентированы по слоистости, волнистое погасание, анизотропия.	Породный, терригенный.

№ аншлифа, глубина отбора (м)	Рудные минералы	Содержание в % относительно общего объема (рудные + нерудные)	Размер рудных минералов	Кристалломорфные особенности рудных минералов	Последовательность минералообразования
441/140,5	Арсенопирит-1	0,1	До 800 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные, ромбовидные кристаллы.	Самостоятельные выделения.
	Пирит-1	1,1	320-2000 мкм	Идиоморфные и гипидиоморфные.	Почти идеально чистые кристаллы, иногда присутствуют включения рутила-1.
	Пирит-3	0,3	40-200 мкм	Реликты кристаллов и микроконкреций, мелкозернистые массы.	Мелкая вкрапленность в ассоциации с марказитом и пиритом-3, почти всегда замещен марказитом.
	Пирит-4	0,2	До 20 мкм	Фромбоидальный	Породный, терригенный. Слабая перекристаллизация.
	Марказит	Доли %	24-100 мкм	Псевдоморфозы по пириту-3.	Замещает пирит-3 и халькопирит в породе.
	Халькопирит	0,05	~ 100 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения в породе. Иногда содержит включения сфалерита.
	Пирротин	Доли %	20-50 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения.
	Сфалерит	Доли %	20 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения, а также включения в халькопирите.
	Тетраэдрит <sup>9</sup>	Доли %	5-30 мкм	Ксеноморфные образования.	Самостоятельные выделения. Ассоциируются с халькопиритом, сфалеритом, пиритом-1
	Гематит	Доли %	70 мкм	Ксеноморфные образования.	В кварц-карбонатном прожилке, рядом с пиритом-1.
	Рутил-2	0,1	До 40 мкм	Игольчатые выделения.	В кварц-карбонатном прожилке. Замещается лейкоксеном.
	Лейкоксен	Частичные и полные псевдоморфозы по рутилу			

10

<sup>9</sup> Оптическое наблюдение, не заверено на микрозонде.

<sup>10</sup> По прожилку большое количество минерала группы каолинит-дикит.



## Приложение 2. Результаты микрозондового анализа для образцов из керна скважин.

**Таблица 1. Состав пирита, марказита и пентландита домена «Долинный» по  
результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %							Кристаллохимическая формула
		As	Sb	Co	Ni	Fe	S	Сумма	
Пирит									
Зона 2									
1	456/135,2	0,00	0,00	0,00	0,00	47,58	51,71	99,29	Fe <sub>1,06</sub> S <sub>2,00</sub>
2	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,91	35,14	45,99	82,04	(Fe <sub>0,88</sub> Ni <sub>0,02</sub> ) <sub>0,90</sub> S <sub>2,00</sub>
3	457/49,8	0,00	0,73	0,00	0,00	34,85	44,00	79,58	Fe <sub>0,91</sub> (S <sub>1,99</sub> Sb <sub>0,01</sub> ) <sub>2,00</sub>
4	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	34,55	44,90	79,45	Fe <sub>0,88</sub> S <sub>2,00</sub>
5	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	31,86	41,12	72,98	Fe <sub>0,89</sub> S <sub>2,00</sub>
6	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	32,20	41,61	73,81	Fe <sub>0,89</sub> S <sub>2,00</sub>
7	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	35,29	45,32	80,61	Fe <sub>0,89</sub> S <sub>2,00</sub>
8	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	32,52	41,12	73,64	Fe <sub>0,91</sub> S <sub>2,00</sub>
9	457/49,8	0,00	0,00	0,00	0,00	37,80	40,14	77,94	Fe <sub>1,08</sub> S <sub>2,00</sub>
Зона 5									
10	445a/59,7	0,00	0,00	2,51	2,45	31,91	41,42	78,29	(Fe <sub>0,88</sub> Co <sub>0,07</sub> Ni <sub>0,06</sub> ) <sub>0,98</sub> S <sub>2,00</sub>
11	453/131,35	0,00	0,00	0,00	0,00	39,63	52,40	92,03	Fe <sub>0,87</sub> S <sub>2,00</sub>
12	445a/59,7	0,00	0,00	0,00	0,00	37,51	46,08	83,59	Fe <sub>0,93</sub> S <sub>2,00</sub>
13	445a/59,7	0,00	0,00	0,00	0,00	38,18	46,20	84,38	Fe <sub>0,95</sub> S <sub>2,00</sub>
14	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	44,07	48,07	92,14	Fe <sub>1,05</sub> S <sub>2,00</sub>
15	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	43,98	47,34	91,32	Fe <sub>1,07</sub> S <sub>2,00</sub>
16	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	48,24	50,66	98,9	Fe <sub>1,09</sub> S <sub>2,00</sub>
17	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	47,85	50,69	98,54	Fe <sub>1,08</sub> S <sub>2,00</sub>
Зона 6									
18	441/91,7	3,70	0,00	0,00	1,15	32,19	39,62	76,66	(Fe <sub>0,90</sub> Ni <sub>0,03</sub> ) <sub>0,93</sub> (S <sub>1,92</sub> As <sub>0,08</sub> ) <sub>2,00</sub>
19	441/91,7	1,21	0,00	0,00	0,00	34,70	41,58	77,49	Fe <sub>0,95</sub> (S <sub>1,98</sub> As <sub>0,02</sub> ) <sub>2,00</sub>
20	441/91,7	0,68	0,00	0,00	0,00	41,86	49,42	91,96	Fe <sub>0,97</sub> (S <sub>1,99</sub> As <sub>0,01</sub> ) <sub>2,00</sub>
21	441/91,7	1,69	0,00	0,00	0,00	44,28	48,07	94,04	Fe <sub>1,04</sub> (S <sub>1,97</sub> As <sub>0,03</sub> ) <sub>2,00</sub>
22	441/91,7	0,80	0,00	0,00	0,00	47,07	51,52	99,39	Fe <sub>1,04</sub> (S <sub>1,99</sub> As <sub>0,01</sub> ) <sub>2,00</sub>
23	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	47,16	51,98	99,14	Fe <sub>1,04</sub> S <sub>2,00</sub>
24	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	47,32	52,00	99,32	Fe <sub>1,04</sub> S <sub>2,00</sub>
25	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	47,36	51,77	99,13	Fe <sub>1,05</sub> S <sub>2,00</sub>
26	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	47,19	51,56	98,75	Fe <sub>1,05</sub> S <sub>2,00</sub>
Пентландит									
Зона 5									
27	445a/59,7	0,00	0,00	3,82	22,83	19,22	32,46	78,33	(Fe <sub>2,72</sub> Ni <sub>3,07</sub> ) <sub>5,79</sub> S <sub>8</sub>

**Таблица 2. Состав арсенопирита домена "Долинный" по результатам анализа  
элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %							Кристаллохимическая формула	S/As ф.е.
		As	Co	Ni	Fe	Sb	S	Сумма		
Арсенопирит										
Зона 5										
1	453/131,35	32,55	16,55	4,21	20,14	0,00	20,26	93,71	(Fe <sub>0,68</sub> Co <sub>0,53</sub> Ni <sub>0,13</sub> ) <sub>1,34</sub> As <sub>0,81</sub> S <sub>1,19</sub>	1,47
Зона 6										
2	441/91,7	37,98	0,00	0,00	39,30	0,00	21,54	98,82	Fe <sub>1,19</sub> As <sub>0,86</sub> S <sub>1,14</sub>	1,33
3	441/91,7	36,93	0,00	0,00	37,03	0,00	19,88	93,84	Fe <sub>1,19</sub> As <sub>0,89</sub> S <sub>1,11</sub>	1,25
4	441/91,7	38,94	0,00	0,00	39,59	0,00	20,49	99,02	Fe <sub>1,22</sub> As <sub>0,90</sub> S <sub>1,10</sub>	1,22

**Таблица 3. Состав минералов золото-полиметаллической ассоциации домена "Долинный" по результатам анализа  
элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %										Концентрации элементов, мас. %
		As	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Sb	S	Pb	Сумма	
Халькопирит												
Зона 2												
1	456/135,2	0,00	32,89	0,00	0,00	0,00	32,80	0,00	33,73	0,00	99,42	Cu <sub>0,94</sub> Fe <sub>1,06</sub> S <sub>1,90</sub>
2	457/49,8	0,00	32,28	0,00	0,00	0,00	22,88	0,00	29,17	0,00	84,33	Cu <sub>1,11</sub> Fe <sub>0,89</sub> S <sub>1,98</sub>
Зона 5												
3	445a/59,7	0,00	26,51	0,00	0,00	0,00	19,35	1,47	28,25	0,00	75,58	Cu <sub>0,93</sub> Fe <sub>0,78</sub> (S <sub>1,97</sub> Sb <sub>0,03</sub> ) <sub>2,00</sub>
4	445a/59,7	0,00	29,65	0,00	0,00	0,00	21,05	2,00	27,77	0,00	80,47	Cu <sub>1,10</sub> Fe <sub>0,89</sub> (S <sub>2,05</sub> Sb <sub>0,04</sub> ) <sub>2,09</sub>
5	445a/59,7	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00	25,62	0,00	29,35	0,00	83,47	Cu <sub>0,99</sub> Fe <sub>1,01</sub> S <sub>2,02</sub>
6	445a/59,7	0,00	31,07	0,00	0,00	0,00	26,57	0,00	27,32	0,00	84,96	Cu <sub>1,01</sub> Fe <sub>0,99</sub> S <sub>1,77</sub>
7	445a/59,7	0,00	31,56	0,00	0,00	0,00	25,66	0,00	27,11	0,00	84,33	Cu <sub>1,04</sub> Fe <sub>0,96</sub> S <sub>1,77</sub>
8	445a/59,7	0,00	31,52	0,00	0,00	0,00	25,18	0,00	29,63	0,00	86,33	Cu <sub>1,05</sub> Fe <sub>0,95</sub> S <sub>1,95</sub>
9	445a/59,7	0,00	31,06	0,00	0,00	0,00	24,24	0,00	26,77	0,00	82,07	Cu <sub>1,06</sub> Fe <sub>0,94</sub> S <sub>1,81</sub>
10	453/131,35	0,00	33,59	0,00	0,00	0,00	26,27	0,00	33,12	0,00	92,98	Cu <sub>1,06</sub> Fe <sub>0,94</sub> S <sub>2,07</sub>
11	453,152,2	0,00	31,55	0,00	0,00	0,00	31,19	0,00	32,24	0,00	94,98	Cu <sub>0,94</sub> Fe <sub>1,06</sub> S <sub>1,91</sub>
12	453,152,2	0,00	36,63	0,00	0,00	0,00	24,78	0,00	29,28	0,00	90,69	Cu <sub>1,13</sub> Fe <sub>0,87</sub> S <sub>1,79</sub>
Зона 6												
13	441/91,7	0,00	26,10	0,00	0,00	10,47	26,82	0,00	31,74	0,00	95,13	(Fe <sub>0,46</sub> Cu <sub>0,39</sub> Zn <sub>0,15</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,94</sub>
14	441/91,7	0,00	33,55	0,00	0,00	0,00	32,07	0,00	33,09	0,00	98,71	Cu <sub>0,96</sub> Fe <sub>1,04</sub> S <sub>1,87</sub>
Галенит												
Зона 5												
15	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,74	0,00	13,38	76,57	92,69	(Pb <sub>0,88</sub> Fe <sub>0,12</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>
16	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,57	0,00	12,08	77,76	92,41	(Pb <sub>0,89</sub> Fe <sub>0,11</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,89</sub>
17	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27	0,00	13,00	76,54	91,81	(Pb <sub>0,90</sub> Fe <sub>0,10</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,99</sub>
18	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	13,32	78,37	93,44	(Pb <sub>0,92</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,01</sub>
Зона 6												
19	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	15,43	1,49	0,00	13,54	57,49	87,95	(Pb <sub>0,51</sub> Zn <sub>0,44</sub> Fe <sub>0,05</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,78</sub>
20	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	2,23	0,00	13,71	76,94	94,11	(Pb <sub>0,86</sub> Fe <sub>0,09</sub> Zn <sub>0,04</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,99</sub>
21	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,69	0,00	14,13	62,96	82,78	(Pb <sub>0,75</sub> Fe <sub>0,25</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,09</sub>

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %										Концентрации элементов, мас. %
		As	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Sb	S	Pb	Сумма	
Галенит												
Зона 6												
22	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,58	0,00	14,66	61,98	81,22	(Pb <sub>0,78</sub> Fe <sub>0,22</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,20</sub>
23	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	11,81	67,24	82,55	(Pb <sub>0,84</sub> Fe <sub>0,16</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,95</sub>
24	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00	13,73	74,38	91,92	(Pb <sub>0,84</sub> Fe <sub>0,16</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>
25	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,32	0,00	12,38	71,80	87,50	(Pb <sub>0,85</sub> Fe <sub>0,15</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,95</sub>
26	441/91,7	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	14,11	76,15	93,16	(Pb <sub>0,88</sub> Fe <sub>0,12</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,06</sub>
27	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	0,00	13,41	77,15	92,5	(Pb <sub>0,91</sub> Fe <sub>0,09</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,03</sub>
Сфалерит												
Зона 2												
28	456/135,2	0,00	2,47	0,00	0,00	55,77	5,34	1,70	31,48	0,00	96,76	(Zn <sub>0,86</sub> Fe <sub>0,10</sub> Cu <sub>0,04</sub> ) <sub>1,00</sub> (S <sub>0,99</sub> Sb <sub>0,01</sub> ) <sub>1,00</sub>
Зона 5												
29	445a/59,7	0,00	0,74	0,00	0,00	55,27	2,06	1,10	26,58	0,00	85,75	(Zn <sub>0,94</sub> Fe <sub>0,04</sub> Cu <sub>0,01</sub> ) <sub>0,99</sub> (S <sub>0,92</sub> Sb <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub>
30	453/152,2	8,91	0,00	4,05	4,48	46,67	1,67	0,00	24,19	0,00	89,97	(Zn <sub>0,96</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,01</sub> <sup>11</sup>
31	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	61,34	1,18	0,00	30,88	0,00	93,40	(Zn <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>
32	453/152,2	0,00	0,00	0,00	0,00	61,58	2,35	0,00	30,82	0,00	94,75	(Zn <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>1,02</sub> S <sub>0,98</sub>
Зона 6												
33	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	54,02	8,44	0,00	32,79	0,00	95,25	(Zn <sub>0,85</sub> Fe <sub>0,15</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,05</sub>
34	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	60,61	2,95	0,00	32,10	0,00	95,66	(Zn <sub>0,95</sub> Fe <sub>0,05</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,02</sub>
35	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	61,39	2,80	0,00	31,53	0,00	95,72	(Zn <sub>0,95</sub> Fe <sub>0,05</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>0,99</sub>
Блеклая руда (Тетраэдрит)												
Зона 5												
36	445a/59,7	0,00	33,38	0,00	0,00	5,68	8,51	17,59	23,47	0,00	88,63	Cu <sub>9,50</sub> (Fe <sub>2,76</sub> Zn <sub>1,57</sub> ) <sub>4,53</sub> Sb <sub>2,61</sub> S <sub>13,24</sub>
37	445a/59,7	0,00	32,91	0,00	0,00	5,24	3,16	24,01	20,73	0,00	86,05	Cu <sub>9,74</sub> (Zn <sub>1,51</sub> Fe <sub>1,06</sub> ) <sub>2,57</sub> Sb <sub>3,71</sub> S <sub>12,15</sub>
38	445a/59,7	0,00	33,91	0,00	0,00	5,14	7,11	19,22	22,56	0,00	87,94	Cu <sub>9,78</sub> (Fe <sub>2,33</sub> Zn <sub>1,44</sub> ) <sub>3,77</sub> Sb <sub>2,89</sub> S <sub>12,89</sub>
39	445a/59,7	0,00	32,52	0,00	0,00	3,55	3,82	23,72	20,25	0,00	83,86	Cu <sub>9,92</sub> (Fe <sub>1,32</sub> Zn <sub>1,05</sub> ) <sub>2,37</sub> Sb <sub>3,78</sub> S <sub>12,24</sub>
40	445a/59,7	0,00	33,86	0,00	0,00	3,89	5,44	21,42	21,11	0,00	85,72	Cu <sub>10,08</sub> (Fe <sub>1,84</sub> Zn <sub>1,12</sub> ) <sub>2,96</sub> Sb <sub>3,33</sub> S <sub>12,45</sub>
41	445a/59,7	0,00	34,16	0,00	0,00	3,86	4,83	22,54	21,11	0,00	86,50	Cu <sub>10,10</sub> (Fe <sub>1,63</sub> Zn <sub>1,11</sub> ) <sub>2,74</sub> Sb <sub>3,48</sub> S <sub>12,37</sub>

<sup>11</sup> Мышьяк, кобальт и никель не учитываются, так как их частицы захвачены из минерала ряда кобальтин-герсдорфит

**Таблица 4. Состав сульфоарсенидов, сульфоантимонидов никеля, кобальта домена "Долинный" по результатам анализа  
элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас.%										Кристаллохимическая формула
		As	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Sb	S	Ca	Сумма	
Кобальтин-герсдорфит												
Зона 5												
1	453/152,2	37,49	0,00	20,01	8,04	0,00	8,79	0,00	18,19	0,00	92,52	(Co <sub>0,58</sub> Fe <sub>0,27</sub> Ni <sub>0,23</sub> ) <sub>1,08</sub> As <sub>0,85</sub> S <sub>0,96</sub>
2	453/152,2	37,22	0,00	18,73	10,38	0,00	9,03	0,00	17,91	0,00	93,27	(Co <sub>0,53</sub> Ni <sub>0,29</sub> Fe <sub>0,27</sub> ) <sub>1,09</sub> As <sub>0,82</sub> S <sub>0,92</sub>
3	453/152,2	37,36	0,00	18,65	9,32	0,00	10,25	0,00	18,46	0,00	94,04	(Co <sub>0,52</sub> Fe <sub>0,30</sub> Ni <sub>0,26</sub> ) <sub>1,08</sub> As <sub>0,82</sub> S <sub>0,95</sub>
4	453/152,2	37,70	0,00	16,20	10,58	0,38	10,42	0,00	19,16	0,00	94,44	(Co <sub>0,46</sub> Fe <sub>0,30</sub> Ni <sub>0,30</sub> Zn) <sub>1,08</sub> As <sub>0,84</sub> S <sub>1,00</sub>
5	453/152,2	37,84	0,00	15,49	10,87	0,00	10,64	0,00	17,86	0,00	92,70	(Co <sub>0,44</sub> Fe <sub>0,32</sub> Ni <sub>0,31</sub> ) <sub>1,07</sub> As <sub>0,85</sub> S <sub>0,94</sub>
6	453/152,2	36,95	0,00	15,51	12,47	0,00	10,54	0,00	17,69	0,00	93,16	(Co <sub>0,43</sub> Ni <sub>0,35</sub> Fe <sub>0,31</sub> ) <sub>1,09</sub> As <sub>0,81</sub> S <sub>0,91</sub>
7	453/152,2	32,05	3,07	8,44	15,48	0,00	12,44	0,00	23,06	0,00	94,54	(Ni <sub>0,44</sub> Fe <sub>0,37</sub> Co <sub>0,24</sub> Cu <sub>0,08</sub> ) <sub>1,13</sub> As <sub>0,72</sub> S <sub>1,21</sub>
8	453/152,2	38,18	0,00	4,97	30,82	0,00	2,85	0,00	17,52	0,00	94,34	(Ni <sub>0,86</sub> Co <sub>0,14</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>1,08</sub> As <sub>0,84</sub> S <sub>0,90</sub>
9	453/131,35	38,69	0,00	7,86	17,07	0,00	10,10	0,00	18,21	0,00	91,93	(Ni <sub>0,51</sub> Fe <sub>0,31</sub> Co <sub>0,23</sub> ) <sub>1,05</sub> As <sub>0,90</sub> S <sub>0,99</sub>
10	453/131,35	43,12	0,00	3,64	11,29	0,00	7,81	0,00	17,77	0,00	83,63	(Ni <sub>0,42</sub> Fe <sub>0,31</sub> Co <sub>0,14</sub> ) <sub>0,87</sub> As <sub>1,27</sub> S <sub>1,22</sub>
Ульманнит-герсдорфит												
Зона 2												
11	456/135,2	0,00	0,00	0,00	25,94	0,00	1,14	56,99	13,72	0,00	97,79	(Ni <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>1,02</sub> Sb <sub>1,01</sub> S <sub>0,92</sub>
12	456/135,2	0,00	0,00	0,00	26,37	0,00	0,00	57,62	13,44	0,00	97,43	Ni <sub>0,98</sub> Sb <sub>1,03</sub> S <sub>0,92</sub>
Зона 5												
13	453/152,2	28,01	0,00	4,05	26,78	0,00	1,75	7,86	14,32	0,00	82,77	(Ni <sub>0,88</sub> Co <sub>0,13</sub> Fe <sub>0,06</sub> ) <sub>1,07</sub> (As <sub>0,72</sub> Sb <sub>0,12</sub> ) <sub>0,84</sub> S <sub>0,86</sub>
14	453/152,2	36,88	0,00	5,24	29,09	0,00	3,54	1,86	17,42	0,00	94,03	(Ni <sub>0,82</sub> Co <sub>0,15</sub> Fe <sub>0,11</sub> ) <sub>1,08</sub> (As <sub>0,82</sub> Sb <sub>0,03</sub> ) <sub>0,85</sub> S <sub>0,90</sub>
15	445a/59,7	36,68	0,00	2,94	16,91	0,00	1,51	2,16	16,41	2,05	78,66	(Ni <sub>0,70</sub> Co <sub>0,12</sub> Fe <sub>0,07</sub> ) <sub>0,89</sub> (As <sub>1,19</sub> Sb <sub>0,04</sub> ) <sub>1,23</sub> S <sub>1,24</sub>
16	445a/59,7	32,52	0,00	5,18	18,08	0,00	2,25	1,55	15,76	2,33	77,72	(Ni <sub>0,70</sub> Co <sub>0,20</sub> Fe <sub>0,09</sub> ) <sub>0,99</sub> (As <sub>0,99</sub> Sb <sub>0,03</sub> ) <sub>1,02</sub> S <sub>1,12</sub>
Зона 6												
17	441/91,7	33,55	0,00	1,78	35,99	0,00	2,20	1,91	16,64	0,00	92,07	(Ni <sub>1,01</sub> Fe <sub>0,06</sub> Co <sub>0,05</sub> ) <sub>1,12</sub> (As <sub>0,73</sub> Sb <sub>0,03</sub> ) <sub>0,76</sub> S <sub>0,85</sub>

**Таблица 5. Состав сульфидов без расчета формулы домена "Долинный" по результатам анализа элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %										Минерал
		As	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Sb	S	Pb	Сумма	
Зона 2												
	456/135,2	0,00	0,00	0,00	18,44	20,36	1,59	39,93	15,98	0,00	96,3	Граница сфалерита и ульманнита
Зона 5												
	445a/59,7	0,00	0,00	0,00	2,04	0,00	15,33	0,00	23,43	35,86	76,66	Мелкое зерно галенита в пирите
	445a/59,7	0,00	0,00	0,00	4,25	0,00	24,94	0,00	33,23	15,90	78,32	Очень мелкое зерно галенита в пирите
	453/131,35	17,46	0,00	11,77	5,56	0,00	3,38	0,00	15,04	37,41	90,62	Мелкое зерно галенита в массе минерала ряда кобальтин-герсдорфит
	453/152,2	13,16	13,31	3,98	5,56	14,84	16,57	0,00	25,52	0,00	92,94	Возможно, теннантит, замещаемый минералом ряда кобальтин-герсдорфит
Зона 6												
	441/91,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,50	0,00	28,34	41,17	90,01	Мелкое зерно галенита в пирите

**Таблица 6. Состав самородного золота домена "Долинный" по результатам анализа  
элементного состава на электронном микроскопе.**

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, мас. %									Пробность, ‰
		Au	Ag	Fe	Hg	Rb	Mg	Zn	S	Al	
1	457/49,8	74,70	7,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	905
2	457/49,8	73,96	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	907
3	457/49,8	46,86	3,33	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	934
4	457/49,8	73,90	7,68	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	906
5	457/49,8	63,36	4,69	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	931
6	457/49,8	72,65	7,78	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	903
7	457/49,8	40,83	2,93	2,80	0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	933
8	457/49,8	73,10	7,58	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	906
9	457/49,8	67,42	6,61	3,44	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,56	911
10	457/49,8	72,99	7,92	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	902
11	441/91,7	84,41	4,64	1,83	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	948
12	441/91,7	81,47	4,09	2,38	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	952
13	441/91,7	63,23	0,00	7,07	9,25	0,00	0,54	0,00	0,00	0,53	872
14	441/91,7	73,86	1,91	3,90	6,18	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	901
15	441/91,7	85,50	4,21	1,53	0,00	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	953
16	441/91,7	88,18	2,23	2,07	0,00	1,41	0,00	0,00	0,00	0,36	976
17	441/91,7	79,32	2,47	3,81	4,94	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	915
18	441/91,7	65,23	1,48	10,35	0,00	0,92	0,00	0,00	16,00	0,00	978
19	441/91,7	77,05	5,42	5,22	0,00	1,19	0,00	1,00	0,00	0,35	934
20	441/91,7	84,21	4,33	1,96	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,36	951
21	441/91,7	83,37	5,01	2,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	943

### Приложение 3. Минеральный состав протолок из межслоевых жил.

Таблица по протолоке М27-1 (Домен Центральный).

№	Концентрации элементов, мас, %																									Минерал (предположитель- но)
	S	Fe	Pb	As	Cu	Zn	Co	Ca	Mg	Mn	Ba	W	Ti	Cr	Re	Os	Ce	Cl	P	F	K	Al	Si	O	Сумма	
1	-	37,72	-	-	-	-	-	-	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	1,49	4,27	53,28	99,06	-
2	1,63	41,84	-	-	-	-	-	0,77	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,85	44,97	95,76	- (похоже на пирит)
3	11,40	38,40	-	-	-	-	-	0,57	0,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74	4,52	43,68	100,00	Пирит
4	-	1,57	22,38	0,78	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,90	2,66	-	0,37	-	-	0,91	7,81	4,75	32,47	100,01	-
5	-	65,36	-	-	-	-	-	0,51	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92	3,47	5,50	23,05	100,01	-
6	-	1,06	31,18	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,02	2,67	-	-	-	-	0,48	8,73	-	25,25	99,99	-
7	-	-	34,11	-	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,61	-	-	-	-	-	0,81	10,24	-	23,75	100,01	-
8	0,66	41,79	-	-	-	-	0,27	0,48	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,61	51,80	98,83	-
9	4,43	8,37	35,14	-	-	-	-	-	1,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21	8,12	41,29	100,00	Галенит
10	-	39,34	3,24	-	-	-	-	0,34	7,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,06	46,41	98,91	-
11	-	53,32	-	-	0,27	-	-	0,31	3,12	-	-	-	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	2,24	4,30	33,91	99,63	+V(0,37) -
12	5,57	42,03	-	-	-	-	0,24	0,48	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,24	3,20	46,33	100,00	- (возможно пирит)
13	25,84	30,28	-	-	-	-	-	0,29	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	2,68	3,95	36,02	100,00	Пирит
14	1,39	44,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,17	10,37	39,32	100,00	-
15	5,82	65,20	-	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	2,48	24,61	100,00	-
16	-	20,42	-	-	-	0,61	-	0,70	1,70	-	-	-	0,46	-	-	-	-	-	-	-	2,89	10,62	13,71	48,89	100,00	-
17	2,39	65,11	-	-	-	-	-	0,28	-	2,09	-	-	-	12,11	-	-	-	-	-	-	-	0,55	1,79	15,68	100,00	Хромит?
18	0,77	68,26	-	-	-	-	-	-	-	0,85	-	-	-	21,50	-	-	-	-	-	-	-	0,61	1,76	6,26	100,01	Хромит?
19	-	7,81	-	-	-	-	-	0,84	0,77	-	-	3,96	6,23	-	-	-	2,72	-	2,83	-	5,84	15,12	16,09	37,79	100,00	
20	-	16,84	-	-	-	-	-	0,56	-	-	-	4,10	1,77	-	-	-	-	25,62	2,85	-	2,25	6,66	4,86	18,53	84,04	+Na(15,96)
21	3,52	38,09	-	-	0,21	-	-	0,52	1,21	-	-	-	1,13	-	-	-	-	-	-	-	0,25	2,17	5,32	47,57	99,99	Пирит?



22	9,66	-	-	-	1,37	0,40	-	-	-	-	66,30	3,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99	-	17,32	100,01	Барит
23	-	1,11	-	-	0,21	-	-	20,09	-	-	-	1,76	0,97	-	-	-	-	-	10,86	4,55	0,45	3,09	4,01	52,92	100,02	Фторapatит
24	-	21,79	-	-	-	-	-	-	7,62	-	-	-	4,27	-	-	-	-	-	0,79	-	1,15	5,95	7,41	51,03	100,01	-
25	4,34	66,93	-	-	10,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08	1,13	16,08	100,01	Халькопирит?	
26	11,39	81,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,75	100,00	Пирит	

**Таблица по протолочке М7-1. (Домен Малтан)**

№	Концентрации элементов, мас. %																											Минерал (предположит ельно)
	S	Fe	Pb	As	Cu	Zn	Co	Ca	Mg	Mn	Sb	W	Ti	Ag	U	La	Ne	Ce	Cl	Cr	P	K	Al	Si	O	Сумма		
1	-	76,46	-	-	2,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,37	19,75	100,01		
2	-	4.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45.51	50.04	100,01	Кварц	
3	-	80.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.85	16.84	100,00		
4	-	89.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.89	100,01		
5	-	93.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.44	6.30	100,01		
6	-	40.32	-	-	-	-	0.22	0.63	5.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	0.72	51.83	100,01		
7	-	17.21	-	-	-	-	-	1.38	0.87	-	-	2.57	-	-	-	-	-	-	-	-	1.01	1.25	8.27	9.08	58.36	100,00		
8	-	23.22	-	-	-	-	0.25	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	2.43	17.57	55.91	100,01		
9	-	0.68	-	-	-	-	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.26	11.69	21.47	62.04	99,45	Кварц	
10	6.84	72.94	-	-	15.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.87	100,01	Халькопирит?	
11	28.81	21.74	-	-	45.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.19	100,00	Халькопирит	
12	-	89.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.68	8.13	100,00		
13	-	7.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71.04	21.32	100,01	Кварц	
14	-	81.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78	17.13	100,00		
15	-	83.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.66	13.60	100,01		
16	7.73	7.23	45.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.46	31.35	100,01	Галенит?	
17	-	92,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,71	100,00		

18	1,04	34,05	5,87	3,79	-	-	0,08	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,81	0,80	53,22	100,02		
19	-	56,86	-	1,58	-	-	-	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03	-	-	0,89	-	1,36	36,60	98,92		
20	0,62	54,75	-	-	1,46	-	-	-	-	-	-	-	-	17,75	5,47	-	-	-	-	-	-	-	-	19,21	100,00		
21	19,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,27	99,16	Антимонит	
22	26,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,01	100,01	Антимонит	
23	-	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,00	100,00	Рутил	
24	8,18	1,76	49,91	0,15	0,19	-	-	-	-	-	-	-	9,67	-	-	-	-	-	-	-	0,61	1,01	28,53	100,01	Галенит на рутиле		
25	-	96,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	2,96	100,00		
26	-	59,09	-	-	-	-	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	-	-	-	0,70	1,30	37,71	100,00		
27	9,45	14,84	58,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	16,14	100,01	Галенит	
28	-	67,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	31,56	100,01		
29	6,21	-	30,16	-	4,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58,95	10-	Галенит	
30	12,18	-	79,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04	-	-	-	0,52	-	7,10	100,01	Галенит		
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,32	8,68	30,98	-	-	13,42	-	0,52	-	32,08	100,00	Монацит
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,49	11,48	30,60	-	-	12,59	-	0,70	0,63	31,51	100,00	Монацит
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,53	7,14	6,18	9,45	72,70	100,00	
34	45,83	38,08	-	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	-	14,79	100,00	Пирит	
35	0,45	52,69	-	-	-	-	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62	3,63	41,79	100,00	Пирит		
36	8,86	6,18	66,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,34	100,01	Галенит	
37	-	38,48	-	6,26	-	-	-	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,19	1,45	51,86	100,02		
38	-	53,60	-	-	-	-	-	5,62	-	12,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,28	8,10	15,04	100,00		
39	-	25,36	-	-	-	-	-	36,5	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,98	100,00		
40	-	14,66	-	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-	31,22	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99	0,73	51,96	100,01	Ильменит	
41	-	54,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,28	42,76	98,56		
42	-	19,57	-	-	-	-	0,36	-	-	-	-	-	31,70	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,83	47,06	100,00	Ильменит	
43	-	33,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,58	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,41	39,35	100,02	Ильменит	
44	9,05	5,77	75,12	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,11	8,66	100,00	Галенит	

45	24,83	19,64	-	-	37,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	1,83	2,02	13,60	100,01	Халькопирит
46	-	20,93	-	-	-	-	-	-	5,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,43	-	-	6,60	-	30,92	100,00	Хромит/хромистая шпинель
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	56,12	100,00	Рутил
48	-	17,95	-	-	-	-	-	1,17	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,2	16,09	19,85	32,15	100,01	
49	0,33	54,93	-	3,02	-	-	-	0,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,63	39,70	100,00	
50	43,40	43,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	12,45	99,99	Пирит/Пирротин
51	10,44	8,47	66,84	-	1,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,87	100,00	Галенит на пирите/пирротине